



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Effekt av buffersoner

- på vannmiljø og andre økosystemtjenester

NIBIO RAPPORT | VOL. 3 | NR. 14 | 2017



Anne-Grete Buseth Blankenberg, Eva Skarbøvik og Sigrun Kværnø
Divisjon for miljø og naturressurser/Jordressurser og arealbruk
Divisjon for miljø og naturressurser/Vannressurser og hydrologi

TITTEL/TITLE

Effekt av buffersoner - på vannmiljø og andre økosystemtjenester

FORFATTER(E)/AUTHOR(S)

Anne-Grete Buseth Blankenberg, Eva Skarbøvik og Sigrun Kværnø

| | | | | |
|-------------------|-------------------------------------|--|---|-----------------------------|
| DATO/DATE: | RAPPORT NR./ REPORT NO.: | TILGJENGELIGHET/AVAILABILITY: | PROSJEKTNR./PROJECT NO.: | SAKSNR./ARCHIVE NO.: |
| 15.05.2017 | 3/14/2017 | Åpen | 8964 | 17/02215 |
| ISBN: | ISSN: | ANTALL SIDER/ NO. OF PAGES: | ANTALL VEDLEGG/ NO. OF APPENDICES: | |
| 978-82-17-01784-4 | 2464-1162 | 72 | 1 | |

OPPDRAAGSGIVER/EMPLOYER:

Landbruksdirektoratet (ref.nr. 15/18103)

KONTAKTPERSON/CONTACT PERSON:

Johan Kollerud

STIKKORD/KEYWORDS:

Buffersoner, næringsstoff, jordtap, økosystemtjenester, biomangfold, kanterosjon

Buffer zones, nutrients, soil loss, ecosystem services, runoff, bank erosion

FAGOMRÅDE/FIELD OF WORK:

Miljøtiltak i jordbruket

Agricultural environmental measures

SAMMENDRAG/SUMMARY:

Se utvidet sammendrag i kapittel 6 i rapporten

GODKJENT /APPROVED

JANNES STOLTE

PROSJEKTLEDER /PROJECT LEADER

ANNE-GRETE BUSETH BLANKENBERG



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Forord

Landbruksdirektoratet, Klima og miljøprogrammet 2015, sendte den 29.04.2015 NIBIO et vedtak om tilskudd til prosjektet «Effekt av buffersoner på vannmiljø og andre økosystemtjenester» fra og med september 2015 til og med februar 2017.

Prosjektet er finansiert av Landbruksdirektoratet, Klima og miljøprogrammet.

Målet med prosjektet har vært å få økt kunnskap om buffersoners effekt på flere ulike økosystemtjenester. Arbeidet har bestått av et utstrakt litteraturstudium, gjennomgang av regelverket, samt innhenting av erfaringer og synspunkter fra grunneiere og forvaltning.

Prosjektet har vært ledet Anne-Grete Buseth Blankenberg.

Eva Skarbøvik og Anne-Grete Buseth Blankenberg har gjennomført befaringer, møte med grunneiere, landbruksrådgivning og forvaltning, gjennomført litteraturstudiet, samt skrevet rapporten. Dominika Krzeminska og Sigrun Kværnø og har vært delaktige i litteraturstudiet, sistnevnte i rapportskriving.

Kvalitetssikring er utført av Eva Skarbøvik.

Det rettes en stor takk til alle involverte parter og en særlig stor takk til grunneiere som har vært svært imøtekommende, interesserte og kommet med gode tilbakemeldinger.

Ås, 15.05.2017

Anne-Grete Buseth Blankenberg

Innhold

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Innledning..... | 6 |
| 1.1 | Bakgrunn..... | 6 |
| 1.2 | Motivasjon..... | 6 |
| 1.3 | Mål med prosjektet | 7 |
| 2 | Metoder og arbeidsbeskrivelse | 8 |
| 2.1 | Litteraturstudium | 8 |
| 2.2 | Eksisterende regelverk | 8 |
| 2.3 | Bondens preferanser | 8 |
| 3 | Litteratursammenstilling | 10 |
| 3.1 | Registrerte renseeffekter i buffersoner..... | 12 |
| 3.1.1 | Partikler..... | 12 |
| 3.1.2 | Fosfor | 12 |
| 3.1.3 | Nitrogen | 13 |
| 3.1.4 | Oppsummering renseeffekter..... | 13 |
| 3.2 | Prosesser og faktorer som påvirker buffersoners renseeffekt..... | 13 |
| 3.2.1 | Kildearealets karakteristika og transport av næringsstoff | 13 |
| 3.2.2 | Fysiske, kjemiske og hydrologiske forhold i buffersonen..... | 14 |
| 3.2.3 | Buffersonens størrelse og topografi | 15 |
| 3.2.4 | Vegetasjon i buffersonen | 17 |
| 3.2.5 | Drift og vedlikehold av buffersonen..... | 19 |
| 3.2.6 | Klima og klimaendring..... | 25 |
| 3.2.7 | Oppsummering av prosesser og faktorer som påvirker disse..... | 26 |
| 3.3 | Kanterosjon langs elver og bekker | 27 |
| 3.3.1 | Erosjonsprosesser langs kantene | 28 |
| 3.3.2 | Vegetasjon og kanterosjon..... | 30 |
| 3.3.3 | Gras, busker eller trær? | 31 |
| 3.3.4 | Oppsummering av kanterosjon..... | 32 |
| 3.4 | Biomangfold | 34 |
| 3.4.1 | Kantsoner og terrestrisk biomangfold | 34 |
| 3.4.2 | Kantsoner og akvatisk biomangfold | 36 |
| 3.4.3 | Oppsummering av biomangfold..... | 38 |
| 3.5 | Kantsoners mulige bidrag til flomdemping | 38 |
| 3.5.1 | Flomdempende effekt av trær langs elveløpet..... | 38 |
| 3.5.2 | Flomdemping ved helhetlig forvaltning av elva og dens nedbørfelt..... | 39 |
| 3.5.3 | Oppsummering av flomdemping | 40 |
| 4 | Lovverk og forskrifter | 41 |
| 4.1 | Lov om vassdrag og grunnvann (Vannressursloven) | 41 |
| 4.2 | Plan og bygningsloven (PLB)..... | 41 |
| 4.3 | Lov om jord (Jordlova)..... | 42 |
| 4.3.1 | Juridiske krav:..... | 43 |
| 4.3.2 | Produksjonstilskudd forutsatt miljøvennlig drift..... | 44 |

| | | |
|-------|---|----|
| 4.3.3 | Annet relevant lovverk..... | 48 |
| 4.3.4 | Bredden på buffersoner i europeiske land..... | 48 |
| 5 | Bondens preferanser | 49 |
| 5.1 | Erfaringer med tiltak og tilskuddsordninger - spørreundersøkelse..... | 52 |
| 6 | Sammendrag og konklusjoner | 55 |
| 6.1 | Oppsummering buffersoner | 55 |
| 6.2 | Lovverk og forskrifter | 58 |
| 6.3 | Bondens preferanser | 60 |
| | Litteraturreferanser | 62 |
| | Vedlegg 1. Spørreundersøkelse | 73 |

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Tilførsler av næringsstoffer (fosfor og nitrogen), pesticider og fekal forurensing forringer vannkvaliteten i bekker, elver og innsjøer. I henhold til EUs Vanndirektiv og den norske vannforskriften skal alle vannforekomster oppnå god økologisk tilstand. Fosfor er det næringsstoffet som hovedsakelig forårsaker eutrofiering og algeoppblomstring i ferskvann. Avrenning fra jordbruksarealer er en betydelig fosforkilde. Det er behov for tiltak som reduserer avrenning av partikler og næringsstoff fra landbruk, samtidig som det biologiske livet i vassdragene ivaretas.

Grasdekte buffersoner mellom åker og vannforekomst er et tiltak som har vært gjennomført i mange år. Tiltaket støttes av ulike tilskuddsordninger, og i enkelte vassdrag gis det ikke produksjonstilskudd med mindre det etableres slike soner. Det er likevel viktig å spørre om vi vet nok om effekten av dette tiltaket. Buffersoner etableres ofte for å bedre infiltrasjonskapasitet og redusere overflateavrenning, men virker de etter hensikten? Er innslag av busker og trær i buffersonene bedre for vannmiljøet enn grasproduksjon? Kan trær langs med elve- og bekkekanter bidra til å redusere kanterosjon, bedre biomangfold og begrense flomskader? Disse spørsmålene er blant dem som dette prosjektet har utredet nærmere.

1.2 Motivasjon

Litteratur har dokumentert at buffersoner langs vassdrag kan redusere overflateavrenning fra jordbruket, men det er mange forhold som er med på å bestemme effektiviteten av dette tiltaket. Dette kan være topografi, jordart, drift på jordbruksarealene, samt utforming og drift av buffersonene (f. eks. Zhang m. fl. 2010, Hoffmann m. fl. 2009).

Norske undersøkelser har gitt data om renseeffekt av grasdekte buffersoner, og grasdekte buffersoner med innslag av trær, men det er fortsatt mange ubesvarte spørsmål om hvordan effekten varierer under ulike betingelser og utforming av buffersonene (f. eks. Syversen 2002, Syversen og Bechmann 2004, Syversen 2005, Syversen og Borch 2005, Søvik og Syversen 2008, Blankenberg 2011, Søvik m. fl. 2012). Nyere undersøkelser har for eksempel vist at infiltrasjonskapasiteten i graskledde buffersoner er dårligere enn forventet (Skarbøvik og Blankenberg 2014). Det er derfor behov for en mer helhetlig vurdering av hvilke betingelser og forhold i nedbørfelt og buffersoner som påvirker effekten.

Erosjon langs kanter av elver og bekker kan gi økte tilførsler av både partikler og næringsstoff til vannforekomstene (f. eks. Fox & Wilson 2010, Hooke 1980). Dette gjelder ikke minst i områder med marin leire, hvor jorda er naturlig rik på mineralfosfor. Riktig utforming av kantsonene slik at erosjonen reduseres kan derfor bidra til å nå miljømålene i vannforskriften.

Vegetasjon langs elvekantene kan også bidra til økt biologisk mangfold, samt ha en mulig innvirkning ved flom (f. eks. Gregory m. fl. 1991, Pusey og Arthington 2003, EEA 2015).

Klimaendringer med økt nedbør og mer intense nedbørepisoder vil kreve stadig mer robuste renseløsninger (f. eks. Engen-Skaugen m. fl. 2010, Hanssen-Bauer 2015, Øygarden m. fl. 2011).

1.3 Mål med prosjektet

Målet med prosjektet har vært å få økt kunnskap om buffersoners effekt på en rekke forskjellige økosystemtjenester; herunder redusert avrenning av partikler og næringsstoffer (nitrogen og fosfor), redusert kanterosjon i bekkeløpet, biologisk mangfold, og eventuelle flomdempende effekter.

Arbeidet har bestått av et utstrakt litteraturstudium hvor både norsk og internasjonal litteratur er gjennomgått. I tillegg har vi sammenstilt relevante norske lover og forskrifter, samt gjennomført spørreundersøkelser blant bønder for å få bedre innsikt i deres syn på bruk av arealet langs vassdragene.

Prosjektet har vært brukerrettet, med et ønske om å bidra til et bedre informasjonsgrunnlag til følgende målgrupper:

1. Forvaltning: Bedre kunnskapsgrunnlag for mest mulig effektive miljøtiltak i landbruket.
2. Landbruksrådgiving: Bedre grunnlag for rådgiving om miljøtiltak i landbruket.
3. Forskning og utvikling: Økt kunnskapsstatus på effekt av buffersoner, samt bedre grunnlag for videre studier om norske forhold der det ikke finnes tilstrekkelige data i dag. Grunnlag for forbedring av verktøy for tiltaksanalyser, herunder modeller som f.eks. Agricat 2 (Kværnø m. fl. 2014).

2 Metoder og arbeidsbeskrivelse

Prosjektet er delt inn i følgende tre deloppgaver:

1. Nasjonalt- og internasjonalt litteraturstudium
2. Gjennomgang av eksisterende regelverk
3. Undersøkelser av bondens preferanser

2.1 Litteraturstudium

Det er gjennomført en omfattende gjennomgang av nasjonal og internasjonal litteratur med fokus på buffersoner, for å kartlegge kunnskapsstatus og identifisere kunnskapshull.

Følgende tema er belyst:

- Buffersoners kapasitet til å holde tilbake jord og næringsstoffer
- Buffersoners/kantvegetasjonens kapasitet til å armere bekkekant og redusere kanterosjon
- Buffersoners/kantvegetasjonens evne til å dempe flom
- Buffersoners effekt på biomangfold i vassdrag

Litteraturstudiet har hatt spesielt fokus på å sammenlikne grasdekte buffersoner og buffersoner med busker og trær.

2.2 Eksisterende regelverk

Regelverk omkring buffersoner har i enkelte tilfeller blitt oppfattet som uklar, og gjennom Regional miljøplan (RMP) utøves finansiering av tiltaket ulikt mellom fylkene. Vi har derfor gått gjennom regelverket, inkludert lover, forskrifter og støtteordninger.

2.3 Bondens preferanser

En viktig del av prosjektet har vært å undersøke hvilke erfaringer bønder, forvaltning og landbruksrådgiving har med buffersoner, både praktisk og i forhold til dagens regelverk. Spesielt har vi vært interesserte i å høre bondens erfaringer, siden denne brukergruppen har førstehånds erfaring av ordningene og tiltakene.

Den opprinnelige planen var å gjennomføre workshop, hvor bønder, forvaltning og landbruksrådgiving deltok. Det viste seg å være vanskelig å samle aktørene i en travel hverdag, så i stedet inviterte vi oss med på markvandring i Marker, Aremark og Svinndal. I tillegg forsøkte vi å få til markvandring og møte med grunneiere i Maridalen, men grunnet liten deltakelse ble dette avlyst. Markvandringene var en flott arena for å møte bønder, forvaltning, landbruksrådgiving og private aktører. På arrangementene presenterte vi buffersoneprojektet. Det ble god anledning til diskusjoner med brukerne omkring buffersoner som tiltak, og vi fikk inn flere synspunkter og erfaringseksempler.

I tillegg ble det utarbeidet en spørreundersøkelse (vedlegg 1) som ble delt ut til alle deltakere på markvandringene, samt sendt i posten til alle gårdbrukere som ikke var tilstede.

Tema i spørreundersøkelsen ble også brukt som grunnlag for diskusjoner i felt. Tema vi ønsket tilbakemeldinger på var blant annet:

- Vedlikehold, maskinpark og drift
- Økonomi
- Ugrasspredning
- Bruk av jordbruksareal/bredde på buffersoner
- Produktivitet
- Estetikk, kulturlandskap
- Kvalitet på graset og bruk av graset i buffersoner.
- Kanterosjon
- Pakkeskader

3 Litteratursammenstilling

Effektivisering av jordbruket har medført en fjerning av naturlige rensesystemer (som for eksempel naturlige våtmarker, myrer, bekker, samt vegetasjon langs bekker og små tjern) som holdt til tilbake ulike forurensninger (som for eksempel jord, næringsstoffer, plantevernmidler og patogene organismer) fra jordbruksarealer. Avrenning fra jordbruksjord er en av de viktigste årsakene til eutrofiering av ferskvannresipienter i Norge (Borgvang og Tjomsland, 2001; Solheim m. fl. 2001). Foringelse av vannkvaliteten i bekker og innsjøer får konsekvenser for blant annet plante-, fiske-, fugle- og dyreliv, samt vannresipientens egnethet som drikkevannskilde og ulike former for rekreasjon. Fosfor er et nødvendig næringsstoff, men i industrialiserte land har fokuset endret seg til at fosfor i jordbruksjord er et miljøproblem snarere enn et agronomisk problem (Delgado og Scalenghe 2008). I tillegg har tiltak som kanalisering, rørlegging og steinsetting av bekker, drenering av «uproduktiv mark» og opparbeiding av jordbruksjord helt ned til bekkanten medført økt vannhastighet gjennom nedbørfeltene. En slik fjerning av «naturlige vannreservoarer» kan øke flomfaren nedstrøms i nedbørfeltene, noe som kan få store økonomiske konsekvenser.

Bufferzoner er av mange anbefalt å være effektive tiltak for å beskytte elver og innsjøer mot diffus avrenning og kanterrosjon, og det er skrevet hundrevis av artikler og mange bøker om temaet. Det er imidlertid viktig å definere hva vi legger i begrepene som blir brukt på ulike typer bufferzoner (Correll 2001). På den nettbaserte «Tiltaksveileder for landbruket» (www.nibio.no/tiltak) finnes et Bioforsk TEMA-ark som beskriver ulike typer bufferzoner i det norske jordbrukslandskapet (Blankenberg og Grønsten 2014). Tre nye fakta-ark som omhandler temaet er under utarbeidelse av NIBIO.

Denne rapporten omhandler bufferzoner i form av et belte av vegetasjon mellom dyrka mark og bekk, elv eller annen vannresipient (Popov m. fl. 2005). Dette kan for eksempel være en grasdekt buffersone i tillegg til en smal naturlig buffersone med innslag av trær/busker (figur 1), en ugjødsel randsone mellom grasarealer og vannstreng (figur 2) eller sone med trær.



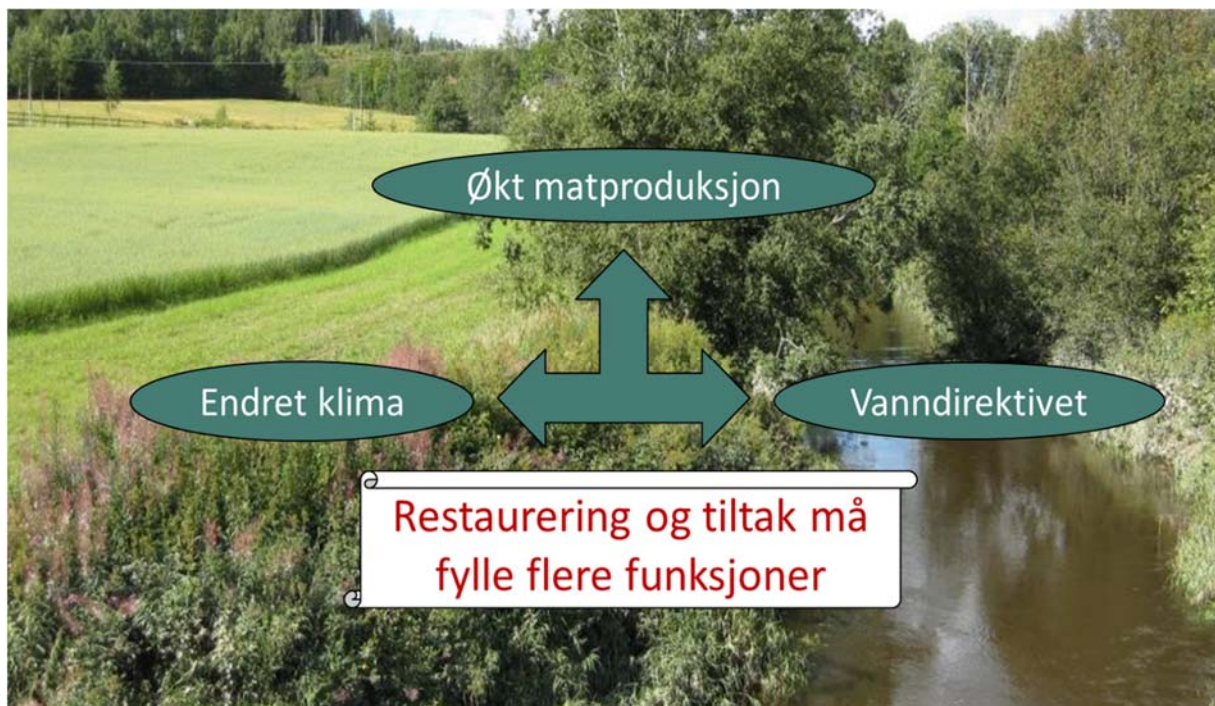
Figur 1. Grasdekt buffersone og naturlig vegetasjon mellom dyrka mark og bekk (Foto: A-G.B. Blankenberg).



Figur 2. Eksempel på ugjødsla randsone og busker og trær mellom grasarealer og bekk (Foto: A-G. B. Blankenberg).

Flere hensyn må tas ved restaurering og tiltak i elvekantene i jordbruksvassdrag (figur 3):

- Krav om økt matproduksjon (politisk målsetting om økt selvforsyning)
- Vanndirektivet og den norske vannforskriften (krav om god økologisk, hydromorfologisk og kjemisk tilstand i alle vannforekomster)
- Endret klima (økt fare for flom, erosjon og næringsstoffavrenning)



Figur 3. Det er mange ulike hensyn som må tas når det gjelder arealet langs vassdrag i jordbrukslandskapet (Foto: E. Skarbøvik).

3.1 Registrerte renseeffekter i bufferzoner

Fosfor er den begrensende faktoren for algeoppblomstring i de aller fleste ferskvannsresipienter i Norge. Etablering av bufferzoner er derfor i første rekke tiltenkt å redusere overflateavrenning av partikler og næringsstoffer, da spesielt fosfor. Overflateavrenning og jorderosjon oppstår ved at regndråper slår løs jordpartikler i tillegg til at vannet drar med seg og løser stadig nye jordpartikler på sin vei nedover jorden. Erosjonen er størst på jord med et høyt innhold av silt og finsand. I andre land kan bufferzonene først og fremst være etablert for å redusere nitrogentilførsler til grunnvannet. Renseeffekten vil derfor variere avhengig av utformingen av bufferzonene og hva man i første rekke ønsker å fjerne.

3.1.1 Partikler

Forsøk viser, med få unntak, at bufferzoner effektivt bremser partikler og partikkelbundne stoffer som kommer med overflateavrenning. Sedimentasjon er den dominerende renseprosessen (f. eks. Haan m. fl. 1994; Syversen, 2002. Dorioz m. fl. 2006).

Langtidsstudier i Norge (helling > 10 %, bredde 5-10 m) viser en svært god rensing, med gjennomsnittlige renseeffekter for partikler i størrelsesorden 81-91 % (Syversen, 2002). Uusi-Kämpe og Jauhianinen (2010) fant i langtidsstudier i Finland en renseeffekt for partikler på >50% ved konvensjonell drift og høstpløying, mens den i områder uten bufferzoner var 27-36%.

Det er også referert til god retensjon av partikler flere andre steder i verden, blant annet: >90 % (Yang m. fl. 2015); 55-85 % (Xiao m. fl. 2010); 40-100 % (Dorioz m. fl. 2006); 80 % (Helmers m. fl. (2005); 66-93 % (Young m. fl. 1980); 87-100% (Patty m. fl. 1997); 76-95 % (Dillaha m. fl. 1988; 1989); 53-98 % (Magette m. fl. 1989); 90-94 % (Peterjohn og Corell, 1984; 32% (Udawatta m. fl. 2011); >94 % (Ellis m. fl. 2008) og ca. 50 % Ducemin & Hogue (2009).

3.1.2 Fosfor

Da hoveddelen av fosforet som renner inn i bufferzonen er bundet til sedimenter, påvirker bufferzonens evne til å sedimentere partikler også i stor grad fosforretensjon i sonene.

Langtidsstudier i Norge (helling > 10 %, bredde 5-10 m) hadde gjennomsnittlig renseeffekt av total fosfor fra overflateavrenning i størrelsesorden 76-89 % (Syversen 2002), hvilket er omtrent det samme som for partikler i samme studier (se over). Tilsvarende renseeffekt for totalfosfor er dokumentert gjennom mange artikler, f.eks. fra Finland; > 50 % (Uusi-Kämpe og Jauhianinen 2010), Danmark; 41-97 % (Poulsen og Rubæk 2005; Kronvang m. fl. 2008) og Frankrike; 40-100 % (Dorioz m. fl. 2006). En litteratursammenstilling av Grimser m. fl. (2006) oppsummerte fosforretensjon fra sju studier, med følgende resultat; totalfosfor 26-87 % og løst fosfor 8-89 %. Poulsen og Rubæk, 2005 har i en litteratursammenstilling av tolv studier (fra korte episodestudier, til studier på sju år) funnet en retensjon av total fosfor mellom 27-100 %. Unntaket var et studium over 3 år (Ulén 1988) som viste en negativ retensjon av både totalfosfor og løst fosfor.

Selv om retensjon av partikler og fosfor har en klar sammenheng, viser studier at tilbakeholdelsen av totalfosfor synes å være noe lavere enn for partikler (f.eks. Dillaha m. fl. 1988, 1989; Magette m. fl. 1989), noe som kan skyldes ulik effektivitet i rensing av løst og partikkelbundet fosfor. Studier har ofte vist at renseeffekten er bedre for totalfosfor enn for løst/biotilgjengelig fosfor (f.eks. Wegner 1999; Dorioz et al 2006).

3.1.3 Nitrogen

Nitrogen er vannløselig og følger derfor vannets vei gjennom landskapet. Det betyr at nitrogen kan følge overflateavrenningen, det kan infiltrere ned i grunnvannet, eller det kan fraktes gjennom grøftesystemet.

Langtidsstudier i Norge (helling > 10 %, bredde 5-10 m) hadde gode gjennomsnittlige renseeffekter for nitrogen fra overflateavrenning, i størrelsesorden 62-81 % (Syversen 2002). Andre studier har også dokumentert god retensjon av nitrogen gjennom buffersoner: 55-90% nitrat, (Sahua og Gu 2009); 43-84 % totalnitrogen, 92-100% ammonium og 47-100 % nitrat (i en litteratursammenstilling fra åtte studier av Grimser m. fl. 2006). Wegner (1999) har vist god retensjon av nitrat fra buffersoner med lav grunnvannstand, og opptaket forklares bl.a. med denitrifikasjon og at vegetasjonen tar opp nitrogenet. Nitrogenfjerning i buffersoner er i stor grad bestemt av vegetasjonsdekket, infiltrasjonskapasitet, hydrologiske forhold, oksygenforhold i rotsonen og bredden på buffersonene.

Andre igjen har vist at det er stor variasjon i tilbakeholdelse av nitrogen; 0 til 74 % (Magette m. fl. (1989).

3.1.4 Oppsummering renseeffekter

I Norge etableres buffersoner i første rekke for å redusere overflateavrenning av partikler og næringsstoffer, da spesielt fosfor. I andre land kan buffersonene først og fremst være etablert for å redusere nitrogentilførsler til grunnvannet. Det er store variasjoner i renseeffekten gjennom buffersoner (tabell 1). Kapittel 3.2 tar for seg årsaken til de store variasjonene.

Tabell 1. Renseeffekter i buffersoner.

| | Renseeffekt (%) |
|-----------|-----------------|
| Partikler | 32-91 |
| Fosfor | 26-100 |
| Nitrogen | 0-100 |

3.2 Prosesser og faktorer som påvirker buffersoners renseeffekt

Litteraturen viser at det er stor variasjon i renseeffekt (bl.a. Dorioz m. fl. 2006), og at effekten i hovedsak påvirkes av hydrologi (Thawaith og Chauhan 2014), jordkarakteristikk, type vegetasjon og bredde på buffersonene (Thawaith and Chauhan 2014; Gascuel m. fl. 2010). Gascuel m. fl. (2010) påpeker at renseeffekten er balansen mellom retensjon og lekkasjer fra buffersonen. Mikrobiell nedbryting av organiske stoffer er også aktiv i rotsonen (Haan m. fl. 1994, Correll, 2001; Syversen, 2002). Renseeffekten varierer og påvirkes av en rekke faktorer som vi skal gå nærmere inn på i dette kapitlet.

3.2.1 Kildearealets karakteristika og transport av næringsstoff

Kildearealets fysiske karakteristika (terreng, jordsmonn, vegetasjon) har betydning for avrenning til buffersonene, da disse bestemmer hvordan vann, samt løste og partikkelbundne stoffer transporteres i landskapet.

Løste stoffer (f.eks. nitrat og fosfat) vil primært transporteres med vann, som overflateavrenning, ved infiltrasjon ned i jorda til grunnvannet, eller gjennom dreneringene dersom arealene er grøftet. Løste

stoffer i jord-/grunnvann kan bindes til partikler eller tas opp av vegetasjonen dersom rotsystemet er i kontakt med jordvann/grunnvann før det renner ut i vannforekomsten. Løste stoffer i dreneringene vil passere under buffersonen og fraktes direkte ut i vannforekomsten.

Risiko for overflateavrenning øker i tett jordsmonn (leirjord og jord med dårlig jordstruktur pga. bakkeplanering, jordpakking o.l.), ved lav overflateruhet (liten lagringskapasitet for vann på jordoverflaten), i bratte hellinger og der vann samler seg i daler/dråg/forsenkninger. Risikoen for overflateavrenning varierer gjennom året, og er særlig høy vinter og vår, når regn og snøsmelting skjer mens det er tørt i jorda. Studier underbygger at i Norge og andre nordiske land er overflateavrenning og erosjon størst om vinteren, da spesielt i perioder med snøsmelting (Lundekvam og Skøyen, 1998; Øygarden, 2000; Grønsten m. fl. 2007, Søvik og Syversen, 2008).

Partikkelbundne stoffer (f.eks. fosfor) kan transporteres med både overflate- og grøfteavrenning. I tillegg til forhold som bestemmer vannets strømningsveier (jordstruktur, topografi, vær/klima mm.), er jordsmonnets eroderbarhet viktig. Med eroderbarhet menes jordas evne til å motstå løsrivelse og transport av partikler. Eroderbarheten øker ved lav permeabilitet (liten mulighet for infiltrasjon av vann i jorda), kombinert med lav strukturabilitet (ofte på grunn av høyt innhold av silt og finsand, og lavt moldinnhold). Små partikler lar seg lett transportere med vann. Bakkeplanert jord er spesielt utsatt for erosjon. Vegetasjonsdekket har stor betydning for overflateavrenning, ettersom plantedelene over jorda beskytter mot vannets krefter og samler opp løsepartikler, mens planterøtter binder jorda.

Partikkeltransport ned i jorda kan bli høy der det er mye makroporer (vertikale sprekker og markganger). Dette er særlig tilfelle på leirjord, og spesielt i de første årene etter at et areal har blitt grøftet og/eller der dreneringene ligger tett (Kværnø og Bechmann 2010). Partikler som ender i grøftesystemet vil transporteres direkte til vannforekomsten.

Det fins også strukturer på større skala som i likhet med makroporer kan defineres som «foretrukne strømningsveier». Eksempler på dette er kummer, åpne og lukkede grøfter, plogfårer, riller mellom åkervekster, kanter rundt jordene, hjulspor, veier og dråg. Slike strukturer kan lede overflateavrenning konsentrert inn i deler av, og i noen tilfeller helt utenom, buffersonene. Både eksperimenter (Blanco-Canqui m. fl. 2006) og modellsimuleringer (Verstraeten m. fl. 2006) har illustrert at renseeffekten reduseres når vannet følger strømningsveier istedenfor å renne jevnt inn i sonen.

Det er utført en rekke undersøkelser av terrengets innvirkning på buffersoners renseeffekt. I litteraturen er det en generell enighet om at renseeffekten reduseres når kildearealets hellingsgrad øker (Darch m. fl. 2015). Dette gjelder særlig for sediment og partikkelbundet fosfor, og årsaken er antakelig at det blir høyere hastighet på vannet som kommer inn i buffersonen, og derved lavere mulighet for sedimentasjon av partiklene. Det er dårligere dokumentert hva hellingsgrad har å si for retensjon av løst fosfor (Darch m. fl. 2015).

3.2.2 Fysiske, kjemiske og hydrologiske forhold i buffersonen

Jordas fysiske, kjemiske og hydrologiske forhold har ofte stor sammenheng, og er derfor beskrevet sammen. Mange studier har vist at arealer med gras generelt har høyere moldinnhold, høyere porøsitet, lavere jordtetthet, bedre vannlagringsevne, høyere mettet vannledningsevne og høyere infiltrasjonsevne enn åpen åker (f. eks. Broersma m. fl. 1995; Bharati m. fl. 2002; Stutter and Richards 2012; Seobi m. fl. 2005). Forsøk har vist at dette også gjelder for buffersoner med gras, og for buffersoner med blanding av gras/busker/trær, sammenliknet med kildearealer med beite eller radvekster (Udawatta m. fl. 2008; Kumar m. fl. 2010; Dillaha m. fl. 1989). Udawatta m. fl. (2008) fant at det var små forskjeller på infiltrasjonsevnen i vegeterte buffersoner med ulike typer vekster. God infiltrasjonsevne i buffersonen gir mindre risiko for overflateavrenning og erosjon. Dette medfører at løste forbindelser (for eksempel nitrogen og løst fosfor) kan infiltreres og bindes i jorden, og/eller bli tatt opp av vegetasjonen (Poulsen og Rubæk 2005).

Bufferens evne til å binde næringsstoffer avhenger blant annet av jordas kornfordeling og innhold av ulike kjemiske forbindelser. Små partikler har et større overflateareal, og dermed flere bindingplasser enn større partikler. Leirjord har i teorien en høyere evne til å binde fosfor sammenliknet med silt- og sandjord grunnet større overflateareal og høyere innhold av forbindelser som aluminiums- og jernoksider (f. eks. Syversen og Borch 2005; Brady and Weil 2008). Retensjon av fosfor er relatert til bindingskapasiteten på jord og sedimenter, særlig jern/fosfor (Fe/P) forholdet. Altså innholdet av reduserbare jerndioksid, konsentrasjon av redoks-stabile sorbenter, graden av Fe (III) oksid reduksjon under evt. anoksiske perioder, pH, alkalitet og tilstedeværelse av forbindelser som konkurrerer om bindingplasser på partiklene (f. eks. Hoffmann m. fl. 2009). Potensialet for å binde fosfor vil også avhenge av kontakttid mellom jord og vann: Lav permeabilitet øker fosfor-retensjonen, men øker også risikoen for makroporestrømning og overflateavrenning.

Selv i godt etablerte bufferoner er det risiko for forurensing med løste stoffer, hvis det er stor grad av makroporestrømning (Allaire m. fl. 2015). I slike tilfeller anbefales det å bruke planter med dypt rotsystem i bufferonen (eks. busker og trær), eller å implementere en eller annen form for filter i undergrunnsjorda.

3.2.3 Bufferens størrelse og topografi

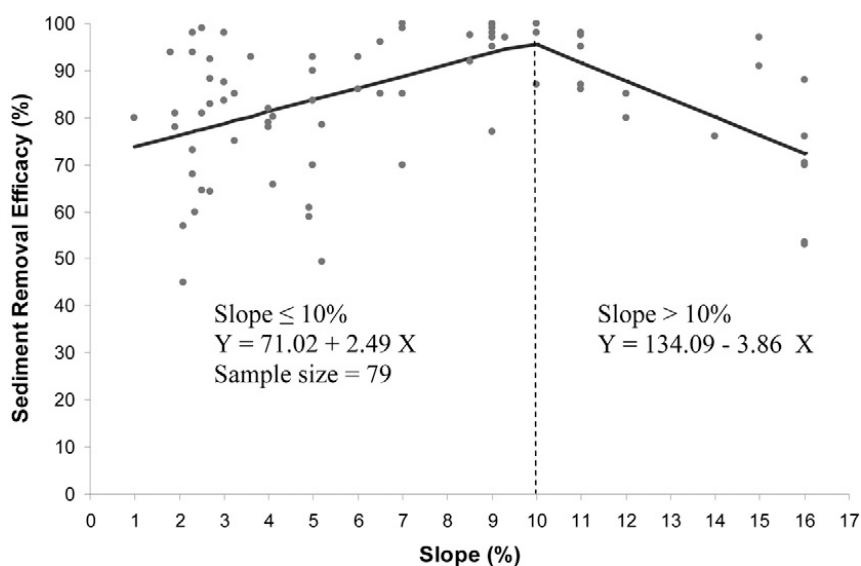
Liu m. fl. (2008) har sammenstilt over 80 publiserte buffersoneforsøk, og kommet frem til at bredde og helling på buffersoner er de to viktigste faktorene med hensyn på å bremse opp sedimenter og partikkelbundne stoffer (for eksempel bundet fosfor).

3.2.3.1 Helling

Bufferens hellingsgrad påvirker i hvilken grad vannet bremses opp og jord og partikkelbundne stoffer får tid til å sedimentere. Flere undersøkelser har vist at renseeffekten for partikler og partikkelbundne stoffer reduseres med økende hellingsgrad (f. eks. Dillaha m. fl. 1989, Zhang m. fl. 2010).

En metadataanalyse utført av Zhang m. fl. 2010 viste imidlertid at renseeffekten økte med økt helling opp til ca. 10% helning. Deretter ble renseeffekten mindre jo brattere helning bufferonen hadde (Figur 4). Lavere renseeffekt ved de laveste hellingsgradene kan skyldes at det tilføres relativt lite overflatevann i flatt terreng. Om hellingsvinkelen blir høyere kan årsaken til redusert renseeffekt være at vannet ikke bremses tilstrekkelig opp, og partiklene kan passere bufferonen. Tilsvarende viste en sammenstilling av over 80 publikasjoner at effekten av buffersoner økte med økt helling inntil om lag 9 grader, før retensjonen avtok igjen (Liu m. fl. 2008).

Andre igjen har ikke funnet noen signifikant effekt av bufferens hellingsgrad; 2 og 10° (Darch et al 2015), 7, 14 og 28 % (Syversen og Roseth 1992), og forklarte dette med at tett plantedekke (gras) påvirket retensjonen av partikler mer enn hellingsvinkelen.



Figur 4. Sammenheng mellom tilbakeholdelse av partikler/sediment (%) og helling (%) på buffersoner (Zhang m. fl. 2010).

Sheppard m. fl. (2006) har målt effektiviteten i buffersoner med høye fosforverdier i flate områder (helling på < 2 %). Det ble analysert vannprøver fra jordekant og buffersoner ved 22 lokaliteter, og halvparten viste retensjon av fosfor, 32 % viste uforandrede verdier, mens 18 % viste at det var lekkasje av fosfor fra sonene. Oppgitt forklaring på dårlig eller ingen rensing var at overflatevannet rant over begrensede områder av buffersonene.

3.2.3.2 Bredde

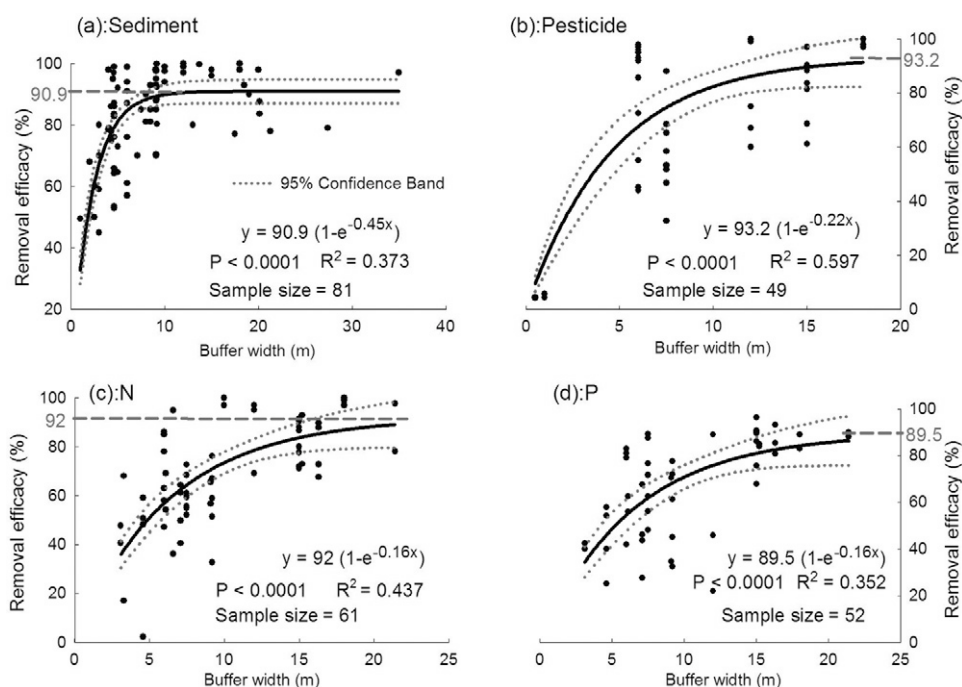
Tilsvarende som helningsvinkelen, har bredden på buffersonen betydning for om overflateavrenning får tid til å redusere farten gjennom sonen, og dermed fremme sedimentasjon av partikler og partikkelbundne stoffer, samt infiltrasjon av vann og løste stoffer. Bredden på buffersonene er også en viktig faktor for oppholdstiden til forurensingsstoffer og ulike prosesser i sonene, og effekten vil dermed avhenge av om man ser på løste eller partikkelbundne stoffer (f. eks. Reichenberger m. fl. 2007). Effekten vil også variere med intensiteten på avrenningsepisodene.

Det er gjennomført flere litteratursammenstillinger om bredden til buffersoner sin innvirkning på renseseffekt. En av disse er Castelle m. fl. (1994), som anbefalte en bredde på buffersonene på 10-60 meter for partikkelretensjon, mens det for næringsstoffer ble anbefalt 5-90 meter. En annen er Wegner (1999), som anbefalte en minimumsbredde på 15 – 30 meter. Thawait og Chauhan (2014) konkluderte med at buffersoner med en bredde på 12-20 meter skulle være tilstrekkelig for å beskytte vannforekomster som ble brukt som drikkevannskilder. Syversen (2002) konkluderte med at 5-10 meter brede buffersoner var effektive for å fjerne partikler og partikkelbundne stoffer, men at anbefalt bredde vil variere med hellingsforhold i nedbørfeltet. Gascuel m. fl. (2010) har konkludert med at det er vanskelig å lage noen standard for hvordan en bufferson skal se ut, grunnet svært mange forhold og usikkerheter både i nedbørfelt og i buffersoner, men oppgir at buffersoner med en bredde på 3-10 meter renses 70-90% sedimenter og partikulært bundet fosfor og 30-50 % løste næringsstoffer.

Generelt viser forskning at effekten øker med økende bredde på buffersonene, som oftest både for sediment, fosfor og nitrogen (f. eks. Dillaha m. fl. 1989; Magette m. fl. 1989; Vought m. fl. 1994; Poulsen og Rubæk, 2005; Thawait og Chauhan, 2014, Mayer m. fl. 2005). Dette gjelder også for undersøkelser gjennomført i fire forsøksfelt med naturlig og simulert avrenning i Sørøst-Norge (Akershus og Østfold) i forsøksperioden 1992 til 2001, som konkluderte med at den relative

renseeffekten (%) økte med økende bredde på buffersonen både for fosfor, nitrogen og partikler (Syversen 2002). Renseeffekten per arealenheter (g/m^2) minket med økende bredde. Økt bredde på buffersonene medførte imidlertid økt sedimentering av leirpartikler, noe som er av stor betydning for renseseffekten, da leirpartikler som tidligere forklart har stort potensiale for å binde fosfor. Bredden på buffersonene var 5-15 meter.

Dataanalyser gjennomført av Zhang m. fl. (2010) og Lin m. fl. (2011) viste at buffersonens bredde forklarte relativt mye av den totale variasjonen i buffersoners renseseffektivitet (figur 5). Undersøkelsene viste en tendens til at renseseffekten økte inntil en viss bredde, hvoretter ytterligere økning i renseseffekt ble redusert eller ubetydelig.



Figur 5. Retensjon vs. bredde på buffersoner for partikler, pesticider, nitrogen og fosfor. Svarte prikker er innsamlede data, og linjene er modellberegninger. Prikkede linjer indikerer 95 % konfidensintervall (Zhang m. fl. 2010).

3.2.4 Vegetasjon i buffersonen

Et konstant plantedekke reduserer farten på overflateavrenning, og et tett rotsystem øker permeabiliteten i jorda og dermed infiltrasjonskapasiteten (f. eks. Wegner 1999; Syversen 2002). Plantedeler både over og under jorda vil også binde kolloider i vann (Xiao m. fl. 2010; Yu m. fl. 2012), og planterøtter vil kunne ta opp løste næringsstoffer. Ulike planter kan ha ulike egenskaper i så måte. For eksempel, jo tettere graset er, jo større er den hydrauliske motstanden, og avrenningsmengden som holdes tilbake øker (f. eks. Vianello m. fl. 2005).

Undersøkelser dokumenterer at tetthet og stivhet på bunndekket/vegetasjonen er avgjørende for sedimentasjon av partikler og partikkelbundne stoffer (f.eks. Schmitt m. fl. 1999; Voght m. fl. 1994; Syversen 2002). For at planting av trær skal ha en positiv effekt på retensjonen må de enten bidra til en mer effektiv sedimentasjon eller en økt infiltrasjon. Voght m. fl. (1994) fant at buffersoner tilplantet med busker/gras fjernet fosfat og total fosfor mer effektivt enn beitemark og bøkeskog, noe som ble forklart med en høyere tetthet på markdekket i buffersonen med gras og busker.

Thawaith og Chauhan (2014) har gjort en sammenstilling som konkluderer med at gras fremmer sedimentasjon av jordpartikler, mens trær og busker stabiliserer bekkekanten og kaster skygge på vassdraget. Samme studiet anbefaler å bruke lokale arter, da disse trives på lokaliteten og fremmer et godt plantedekke og veletablerte soner.

Noen studier viser at buffersoner med trær og/eller busker er mer effektive enn buffersoner kun med gras (f. eks. Aguiar m. fl. 2015; Syversen 2002). Dette kan skyldes at det dype rotsystemet når helt ned til grunnvannet og tar opp løste næringsstoffer (Groffman m. fl. 2002; Mayer m. fl. 2007), og det kan også skyldes bedre retensjon av sedimenter og partikkelbundne næringsstoffer, samt høyere innhold av organisk materiale som næringsstoffene kan bindes til (f. eks. Sharples m. fl. 1994; Mayer m. fl. 2005; Mankin m. fl. 2007; Stutter m. fl. 2009). Lyons m. fl. (2000) underbygger dette gjennom sine studier av buffersoner med ulik vegetasjon, som konkluderer med at buffersoner med trær har høy infiltrasjonskapasitet. Young-Mathews m. fl. (2010) viste også at buffersoner med større diversitet og flere planteslag, deriblant busker og trær, hadde bedre renseeffekt (lavere nivåer av nitrat og plantetilgjengelig fosfor i avrenningsvannet).

Andre studier har ikke funnet noen signifikant forskjell i renseeffekt mellom buffersoner tilsådd med gras og buffersoner med enkelte løvtrær, verken i sommer- eller vinterhalvåret (Søvik og Syversen, 2008). Undersøkelsen så på retensjon av partikler, nitrogen og fosfor, og konkludert med at faktorer som høyde, stivhet og tetthet i vegetasjonen sannsynligvis var viktigere for renseeffekten enn type vegetasjon. Søvik m. fl. (2012); Schmitt m. fl. (1999); Caron m. fl. (2010) og Ducemin & Hogue (2009) rapporterer også om uendret retensjonskapasitet etter tilplanting av trær/busker i buffersoner, og de forklarer dette med at trærne/buskene ikke hadde utviklet et godt nok rotsystem til å øke infiltrasjonskapasiteten i forsøksperioden. Uusi-Kämppe m. fl. 2000 gjorde en sammenstilling av flere nordiske undersøkelser som konkluderte med at det ikke er noen større renseeffekt i buffersoner med trær, enn i grasdekte buffersoner.

Andre undersøkelser igjen viser at gras var mer effektivt enn buskvegetasjon med tanke på å fjerne partikler og næringsstoffer (Yang m. fl. 2015). Osborne og Kovacic (1993) fant høyere avrenning av løst fosfor fra skog enn fra grasdekte buffersoner, mens Thawaith og Chauhan (2014) fant at gras var bedre egnet til å filtrere overflatevann og absorbere næringsstoffer enn belgfrukter.

Zhang m. fl. (2010) har gjennomført en metadataanalyse, og brukte datasettet til å utvikle en modell for renseeffekt i buffersoner. Modellen viste at buffersoner med kun trær ga bedre renseeffekt av både fosfor og nitrogen enn buffersoner med gras eller gras + trær. For partikler ga en sone av gras + trær bedre renseeffekt enn soner med enten kun trær eller kun gras. For pesticider ga ulike typer vegetasjon ikke signifikant utslag på renseeffekten i buffersonen. Resultater fra metaanalysene til Zhang m. fl. (2010) er vist i tabell 2.

Tabell 2. Resultater fra metaanalyse på renseeffekt for sedimenter, nitrogen, fosfor, og pesticider i buffersoner med ulik helling (5%, 10% og 20%) og ulik vegetasjon (etter Zhang m. fl. 2010).

| | | | Renseeffekt (modellert) i % | | | |
|-------------------|-------------------------------------|-----------------------|-----------------------------|------|------|------|
| | | | 5 m | 10 m | 20 m | 30 m |
| Sediment | Helning 5% | mix av gras og trær | 67 | 76 | 78 | 78 |
| | | enten trær eller gras | 82 | 91 | 93 | 93 |
| | Helning 10 % | mix av gras og trær | 77 | 86 | 88 | 88 |
| | | enten trær eller gras | 92 | 100 | 100 | 100 |
| | Helning 20 % | mix av gras og trær | 58 | 67 | 68 | 68 |
| | | enten trær eller gras | 73 | 81 | 83 | 83 |
| Nitrogen | Mix av gras og trær, eller kun gras | | 49 | 71 | 91 | 98 |
| | Kun trær | | 63 | 85 | 100 | 100 |
| Fosfor | Mix av gras og trær, kun gras | | 51 | 69 | 97 | 100 |
| | Kun trær | | 80 | 98 | 100 | 100 |
| Pesticider | | | 62 | 83 | 92 | 93 |

Resultatene fra de mange studier som er utført av ulike typer vegetasjon i buffersoner er langt fra entydige, og gir oss ingen entydige konklusjoner om hvilke vegetasjonstype som er best; gras, trær, busker eller en kombinasjon. For likevel å oppsummere:

- Det er generelt viktig å ha et konstant plantedekke, da dette fremmer ulike renseprosesser og øker jordpermeabiliteten.
- Tett bunnvegetasjon og stråstive grasarter er nevnt som viktige faktorer for å bremse jordpartikler, og dermed retensjon av jord og fosfor.
- Innslag av busker og trær ser stort sett ut til å ha en positiv effekt, da rotsystemet er med på å øke permeabiliteten, samt at røttene tar opp næringsstoffer dypere ned i jordprofilen, og gjennom .
- Bruk av lokale arter anbefales, da disse trives på lokaliteten og fremmer et godt plantedekke.

3.2.5 Drift og vedlikehold av buffersonen

3.2.5.1 Etablering

Kronvang m. fl. (2005) påpeker at målrettet planlegging og restaurering av buffersoner har et stort potensiale for å redusere diffus avrenning av næringsstoffer til vannforekomster, men påpeker samtidig at hydrologien og biokjemien i bufferområdene er innviklet. Dette er en stor utfordring ved utforming av effektive buffersoner for å sikre retensjon av partikler, næringsstoffer og andre forurensinger, i tillegg å redusere faren for utlekking av drivhusgasser (f. eks Kronvang m. fl. 2009).

Generelt kan det forventes særlig god effekt av buffersoner som etableres i områder med fare for overflateavrenning fra jordbruksareal, på flomutsatte areal eller på lokaliteter der grøftevann kan ledes inn i buffersonen. Areal hvor jorden jordarbeides og dermed mangler vegetasjonsdekket deler av året,

som områder med korn- og grønnsakproduksjon, kan i særlig grad være utsatt for erosjon/overflateavrenning. (figur 6).



Figur 6. Eksempler på arealer som er uten plantedekke deler av året, og derfor er særlig utsatt for overflateavrenning; grønnsak-, korn- og bærproduksjon (Foto: A-G.B. Blankenberg).

Ugjødsla randsoner er aktuelt i husdyrdistrikt, og kan være særlig viktig i områder hvor tråkk på beiter er betydelig eller på områder hvor overflateavrenning etter spredning av husdyrgjødsel kan være problem.

Det er fornuftig å tilpasse vegeterte buffersoner til terreng, topografi og avrenningsforhold, og gjerne kombinere ulike former for tiltak. For eksempel kombinere vegeterte buffersoner langs bekk og grasdekte vannveier i dråg. Buffersoner bør anlegges slik at effektiviteten er størst mulig i nedbørrike perioder om høsten og under snøsmelting. Ved etablering av grasdekte buffersoner er det lurt å ta hensyn til praktisk drift og aktuell maskinpark for å drifte buffersonen. Buffersoner med bredde inntil 10 meter kan for eksempel være tungvint å drive, så bredere soner kan være å foretrekke. Et tett marksjikt er viktig med hensyn på å bremse partikler og på den måten stoppe partikler og partikkelbundne stoffer. Innslag av busker og trær i buffersonene kan være positivt for renseeffekten,

da de trekker opp næringsstoffer i større deler av året og fra dypere sjikt, samt at rotsystemet kan være med på å øke infiltrasjonskapasiteten. Om det blir for store røtter kan det være fare for at disse graver ganger (makroporer i jorda) ut til vannresipienten, noe som kan medføre økt transporthastighet og dårligere rensing av overflateavrenning.

3.2.5.2 Høsting

Mange rapporterer om betydningen av å høste vegetasjon i buffersonene (figur 7), for å redusere faren for utlekking av løst fosfor fra plantemateriale gjennom vinteren (f. eks. Uusi-Kämpä m. fl. 2000). Bechmann m. fl. 2005 og Øgaard, 2015 rapporterer også om lekkasjer av løst fosfor fra plantemateriale ved frost om vinteren. Utlekking av løst fosfor i en årstid da gras ikke er kommet godt i gang med vekstsesongen ennå vil også være uheldig med hensyn til algeoppblomstring i vannforekomster. Når plantematerialet høstes øker dessuten opptak av fosfor fra jordvæsken i plantematerialet og man får mindre remobilisering av fosfor. Dette ble undersøkt av Uusi-Kämpä (2005), som fant redusert tap av løst fosfor der vegetasjonen ble fjernet kontra der den ikke ble fjernet. Bedard-Haughn m. fl. (2005) fant også signifikant redusert nitrogentap (målt med $15N$) i avrenningen ved å høste vegetasjonen.



Figur 7. Høsting av grasdekt buffersoner kan bidra til å fjerne næringsstoffer fra arealet. Her fra øvre deler av Haldenvassdraget (Foto: E. Skarbøvik).

3.2.5.3 Beiting

Vi har ikke lyktes i å finne dokumentasjon på effekten av beiting av buffersoner (figur 8), og slik dokumentasjon foreligger ikke for norske forhold. Det kan antas at beiting av buffersonen kan være en måte å fjerne biomasse på, dersom annen høsting er uaktuelt. Det er imidlertid en fare for at fjerning av næringsstoffer gjennom plantemateriale kan oppveies, eventuelt overskygges, av tilførsler av næringsstoffer fra dyreavføring på beitet. Beiting kan også medføre tråkkskader og gi økt erosjon/overflateavrenning. Inntil dette er bedre undersøkt kan det ikke konkluderes med om beiting i buffersoner er positivt eller negativt for vannkvaliteten.



Figur 8. Eksempler på buffersoner som blir beitet (Foto: A-G.B. Blankenberg).

3.2.5.4 Gjødsling og sprøyting

Buffersonene skal normalt ikke gjødsles, men det har i enkelte tilfeller vært tillat med forsiktig nitrogengjødsling, da dette er antatt gunstig for vegetasjonsdekket og dets rensekapasitet. Vi har imidlertid ikke funnet studier som dokumenterer dette. Grasdekte buffersoner skal ikke sprøytes.

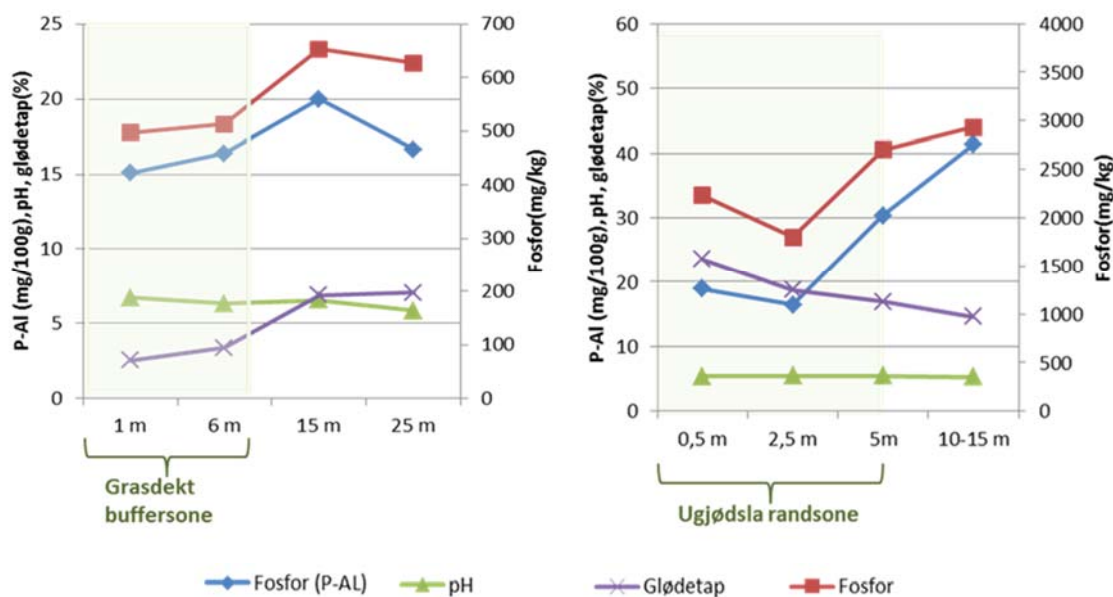
Grasdekt buffersoner og ugødsle randsoner er barrierer som er med på å redusere vinddrift av gjødsel ned til bekk eller innsjø, eller de kan være med på en bevisstgjøring, og dermed hindre gjødsling og sprøyting i umiddelbar nærhet til vannstrengen (figur 9). Dette vil redusere faren for vinddrift av både sprøytemidler og næringsstoffer direkte til vannet.



Figur 9. Husdyrgjødsel er spredd helt ned mot, og delvis ut i bekken (Foto: A-G.B. Blankenberg).

Ingen/reduert gjødsling i buffersonen vil også kunne medføre at fosforinnholdet i denne sonen kan være lavere enn hva det ellers ville ha vært om det hadde blitt gjødslet like intenst som åker og eng (eksempel i figur 10, fra Blankenberg, 2014). En må likevel være oppmerksom på at buffersoner fanger opp næringsrike partikler, og langtidsvirkningen av dette vet man lite om enda.

Økt innhold av fosfor (P-AL) gir økt innhold av vannløselig fosfor i jorda og økt fare for å tape fosfor til vannresipienter (Øgaard m. fl. 2012).



Figur 10. Innhold av fosfor i jordprøver (fosfor (P-AL) og total fosfor), samt pH og glødetap angitt i avstand fra elvekant (fra Blankenberg, 2014).

3.2.5.5 Kjøring i buffersonen

Kjøring i buffersonen er nødvendig i forbindelse med blant annet høsting og innkjøring av gras fra sonene. Det kan imidlertid forekomme at den brukes som «kjørevei» i andre sammenhenger, blant annet fordi det til tider kan være mindre vått og mer stabilt å kjøre her enn inne på åkeren (figur 11). Eksempel på transport i buffersonene kan være kjøring i forbindelse med innhøsting av korn.

Infiltrasjonstester på øst- og sørvestlandet i Norge viser at infiltrasjon er bedre i naturlig kantvegetasjon enn i grasdekte buffersoner og på åker (Tabell 3), (Skarbøvik og Blankenberg, 2014). Undersøkelser viser også at buffersoner i enkelte tilfeller har dårligere infiltrasjon i deler av buffersonen enn på åkeren, noe som indikerer at buffersonen brukes som kjørevei/transportsoner (Skarbøvik og Blankenberg, 2014).



Figur 11. Kjørespor i grasdekt buffersone (Foto: A-G.B. Blankenberg).

Tabell 3. Gjennomsnittlig infiltrasjonshastighet (cm/min) i naturlig vegetasjon langs elvekanten, grasdekt buffersone mellom åker og eng, og åker, basert på til sammen 63 infiltrasjonsmålinger ved Lierelva i Haldenvassdraget i 2013 og 2014. Fra Skarbøvik og Blankenberg (2014).

| | Naturlig vegetasjon ved elvekant (n=6) | Grasdekt buffersone (n=36) | Åker (n=21) |
|---|---|-------------------------------|----------------|
| Gjennomsnittlig infiltrasjonshastighet (cm/min) | 4,55 | 0,52 | 0,91 |

(n: antall infiltrasjonsmålinger)

3.2.5.6 Tilsetningsstoffer

Som nevnt, indikerer en del studier at det kan være frigjøring av løst fosfor fra buffersoner. I Finland er det gjort forsøk med å redusere dette problemet ved å tilføre kalk, aluminiumsulfat eller jernklorid i buffersonen. Tilførsel av jern synes å kunne forbedre tilbakeholdelsen av løst P i buffersonen (Uusi-Kämpä m. fl. 2012).

3.2.5.7 Tidsaspekt og alder på buffersoner

Effekten av en bufferson starter så snart den er tilplantet og har utviklet et godt rotsystem, men det tar fra 1-3 år før det er utviklet et rotsystem som forbedrer jordstrukturen og porøsiteten til jorden så buffersonen kan fungere optimalt (Dorioz m. fl. 2006).

Buffersoner gjødsles ikke, men tilføres næringsrik jord gjennom sedimentasjon fra overflateavrenning. Dette medfører fare for at fosfor senere kan lekke ut fra buffersonene, særlig under ulike hydrologiske forhold, en problematikk som særlig er aktuell i flate områder med høy grunnvannstand og dermed skiftende oksygenforhold i jorden (Hoffmann m. fl. 2009). Wegner (1999) mente at selv om buffersoner var effektive til å sedimentere bundet fosfor, sikret de ikke langtidslagring verken av sedimentert eller løst fosfor. Vannmetta jord kan i perioder frigjøre løst fosfor (f. eks. Gascuel m. fl. 2010). Fosfor kan dermed lekke ut av sonen, særlig om buffersonene blir mettet med fosfor (f. eks. Osborne og Kovacic 1993, Mänder 1997).

Langtidsstudier i Finland (7 år); (Uusi-Kämpä 2005) og Norge (15 år); (Søvik og Syversen, 2008) viste imidlertid at det var store årlige variasjoner i renseeffekt, men fant ingen signifikant endring over tid.

Flere litteratursammenstillinger påpeker at langtidseffekten av buffersoner ikke er godt nok dokumentert. Blant annet skriver Dorioz m. fl. (2006) at filtereffekten for partikler og fosfor bundet til partiklene varer lenge, men det er knyttet usikkerheter til buffersonenes evne til å holde på fosfor over lang tid. De samme studiene stiller også spørsmålsteget ved buffersonenes effekt under ekstremværhendelser. Stutter m. fl. (2012) påpeker viktigheten av å i tillegg til buffersoner ha en best mulig / bærekraftig drift av jordbruksområder på gårdsnivå. Bredden på buffersoner vil også ha en stor betydning i denne sammenheng, da andel partikler som sedimenterer i sonen avtar med avstand fra jordekant. Bredere soner vil ha større mulighet til å rense frigjort løst fosfor, da avstand til vannstreng er større.

3.2.6 Klima og klimaendring

Erosjonsrisiko, grad av overflateavrenning og tap av næringsstoffer og andre forurensningsskomponenter varierer fra år til år på grunn av ulike værforhold (eks. Blankenberg m. fl. 2012; Øygarden m. fl. 2011; Deelstra m. fl. 2011; Tryland m. fl. 2011). Renseeffekten i buffersoner varierer med avrenningsepisodens størrelse og karakter, noe som varierer mellom ulike regioner, men også gjennom året. Det er ventet klimaendringer i form av økt temperatur og hyppigere og mer intense nedbørepisoder (Hansen-Bauer 2015). Hoffmann m. fl. (2009) konkluderer med at klimaforandring med mer regn og hyppigere fryse-/tine-episoder ser ut til å ha større effekt i nordlige områder, med økt avrenning på vinteren som resultat. Dette samsvarer godt med at i Norge og andre nordiske land er overflateavrenning og erosjon størst om vinteren, da spesielt i perioder med snøsmelting (Lundekvam og Skøyen, 1998; Øygarden, 2000; Grønsten m. fl. 2007, Søvik og Syversen, 2008).

Blant annet har Xiao m. fl. (2010) vist at buffersoner hadde redusert infiltrasjonskapasitet ved økt nedbørsintensitet, men at økende nedbørsintensitet ga samme eller høyere renseeffekt på partikler. Undersøkelser gjennomført i Australia viste at buffersoner som hovedsakelig besto av trær hadde en tilbakeholdelse av sediment på minst 94% i intense nedbørepisoder (Ellis m. fl. 2008). Blanco-Canqui m. fl. (2006) fant imidlertid at % renseeffekt for sediment og nitrogen ble lavere ved større vannmengder.

Klimaendringer vil sannsynligvis påvirke fosfortransporten i bekker og elver. Jeppesen m. fl. (2009) gjennomførte et studium av endringer i hydrologi og næringsavrenning i Danmark som følge av klimaendringer. De konkluderte med at klimaendringer høyst sannsynlig vil øke fosfortilførselen til innsjøer, samtidig som økt temperatur kan frigi mer fosfor fra sedimentet. Økt eutrofiering og redusert økologisk tilstand kan bli det sannsynlige resultatet i mange innsjøer.

Mindre intensivt jordbruk langs elver, våtmarker og buffersoner, vil kunne bli en viktig faktor for å imøtekomme de klimaforandringene som er forutsatt, og de påvirkninger de gir på transport av sediment og næringsstoff, og prosesser i nedbørfeltet (Jeppesen m. fl. 2009).

3.2.7 Oppsummering av prosesser og faktorer som påvirker disse

Generelt forventes det best effekt av buffersoner som etableres i områder med stor fare for overflateavrenning, på flomutsatte areal eller på lokaliteter der grøftevann kan ledes inn i buffersonen. Kildearealets karakteristika har betydning for transport av jord og næring- og andre forurensningsstoffer til buffersonene. Økt helling og hellingslengde og tett jordsmonn, er viktige faktorer som øker risiko for overflateavrenning fra åkerarealene. Faren for erosjon varierer gjennom året, og i nordiske land er risikoen størst vinter og vår. Løste stoffer vil primært transporteres med vann, som overflateavrenning, infiltreres i jorda og eventuelt transporteres til grunnvannet, eller gjennom dreneringene dersom arealene er grøftet.

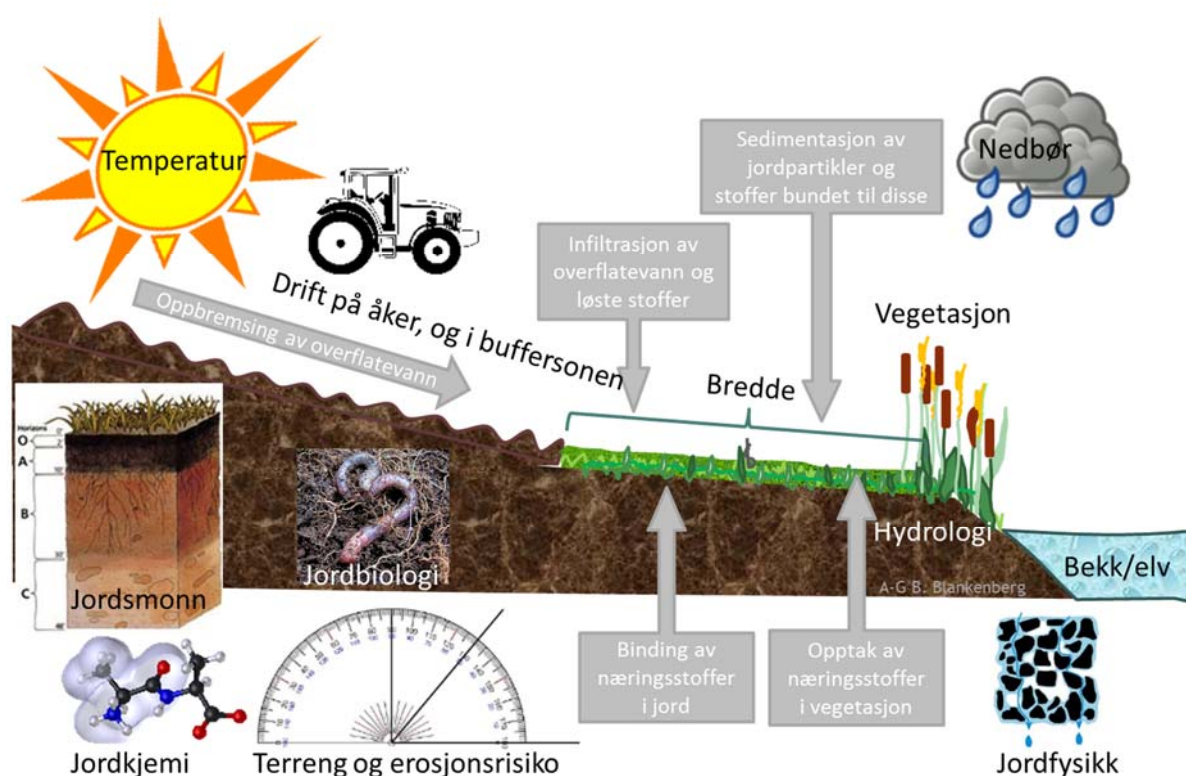
I buffersonen vil fysiske, kjemiske, biologiske og hydrologiske forhold være med å bestemme buffersonenes egenskaper som rensemedium. Buffersoners helling og bredde er beskrevet som de viktigste faktorene for å bremse opp sedimenter og partikkelbundne stoffer. Flere undersøkelser rapporterer at tilbakeholdelse øker med redusert hellingsgrad, men analyser og store litteratursammenstillinger viser også at effekten av buffersoner økte med økt helling inntil om lag 9 grader, før retensjonen avtok igjen. Anbefalt bredde for buffersoner varierer mye, og generelt kan det sies at effekt øker med økt bredde. Når det er sagt, er retensjonen for sedimenter og partikkelbundne stoffer størst de første meterne, for så å flate ut over ca. 10 m.

Planter og plantedekke i buffersoner er også svært viktig for renseeffekten. Ulike planter har ulike egenskaper i forhold til de ulike renseprosessene både over og under bakken. I tillegg øker planterøtter jordas moldinnhold og porøsitet, gir lavere jordtetthet og bedrer vannlagringsevnen. Det er ingen entydig konklusjon i forhold til hvilke type vegetasjon som er best; gras, trær, busker eller en kombinasjon. Det er imidlertid viktig å ha et konstant plantedekke, da dette fremmer ulike renseprosesser og øker jordpermeabiliteten. Det beskrives også at det er viktig med tett bunnvegetasjon og stråstive grasarter, da dette bremser jordpartikler og stoffer bundet til disse. Innslag av busker og trær har stort sett positiv effekt, da rotsystemet er med på å øke permeabiliteten, samt at røttene tar opp næringsstoffer dypere ned i jordprofilen, og gjennom større deler av året. Undersøkelser anbefaler også bruk av lokale arter, da disse trives på lokaliteten og fremmer et godt plantedekke. Buffersoners evne til å holde tilbake jord, næringsstoffer og andre forurensningskomponenter avhenger altså som beskrevet av en rekke komplekse renseprosesser :

- oppbremsing av overflatevann med påfølgende sedimentasjon av jord og partikkelbundne stoffer
- infiltrasjon av løste stoffer og små partikler
- binding av næringsstoffer og andre forurensningskilder til jord (sorpsjon)
- binding av næringsstoffer og andre forurensningskilder til plantedeler (sorbsjon)
- opptak i planter og organismer
- omsetning av næringsstoffer
- nedbryting av organisk materiale

Effekten av buffersoner vil avhenge av hvordan den driftes og vedlikeholdes. Fjerning av plantemateriale beskrives som viktig for å øke effekten/reducere faren for utlekking av næringsstoffer. Hvorvidt dette kan skje gjennom beiting av sonene, har vi ikke lyktes å finne noe dokumentasjon på. Gjødsling og sprøyting av buffersoner skal normalt ikke forekomme, og vi har heller ikke lyktes i å finne noen dokumentasjon på om forsiktig nitrogen gjødsling vil øke planteproduksjon, og derav forventet totalt opptak av næringsstoffer. Det kan foreløpig se ut som om redusert gjødsling i sonene har medført at fosforinnholdet er høyere inne på åkeren enn i buffersonene, men vi har ikke funnet dokumentasjon på langtidsvirkning/konsekvenser av at sonene fanger opp næringsrik jord. Bruk av buffersoner som «kjørevei» har en negativ effekt på infiltrasjonskapasiteten, og dermed forventet redusert renseeffekt. I tillegg vil vær og klima påvirke renseprosessene og effekten av buffersonene, en faktor som vil være viktig fremover i forbindelse med klimaendringer.

Renseprosesser og faktorer som påvirker disse er skjematisk fremstilt i figur 11.



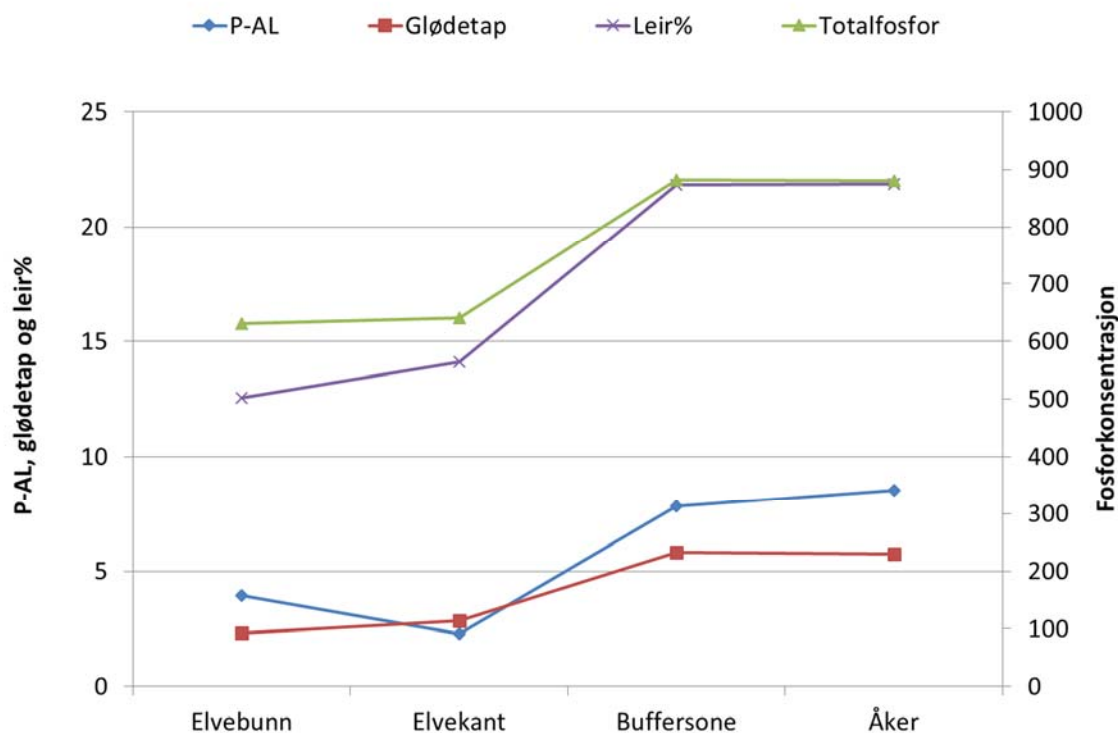
Figur 11. Illustrasjon av renseprosesser i en bufferson og faktorer som påvirker disse.

3.3 Kanterosjon langs elver og bekker

Erosjon langs bekk- og elveløp er en naturlig prosess, men menneskelig aktivitet kan forsterke erosjonen. Dette kan ha store økologiske og økonomiske konsekvenser, bl.a. for bygninger og infrastruktur langs vassdragene, tap av jordbruksjord, samt redusert vannkvalitet. Undersøkelser har vist at kanterosjon kan tilføre en betydelig andel av sedimenter til ellevann, alt fra 4-90 % av det suspenderte sedimentet i elva (f.eks. Laubel m. fl. 1999; Walling 2005; Caitcheon m. fl. 2012).

I jordbruksområder er det stilt spørsmål om erosjon langs elve- og bekkeløp kan utgjøre en vesentlig tilførsel av fosfor. I leirvassdrag under marin grense kan slik kanterosjon tilføre naturlig fosfor til elva, siden leira er rik på mineralsk fosfor (apatitt-fosfor). Norske leirelver drenerer ofte et landskap med intensiv jordbruksaktivitet, og kanterosjon kan i tillegg til tilførsler av apatittfosfor derfor gi økte tilførsler også av næringsstoffer fra gjødsling og husdyr. Skarbøvik (2016) og Skarbøvik og

Blankenberg (2014) beregnet kanterrosjon i Lierelva i Haldenvassdraget og fant at i de områdene hvor det hadde pågått kanterrosjon, varierte erosjonsratene fra 100 til mer enn 1500 kg sediment pr. lengdemeter elvebredde og år. Samtidig viste undersøkelsene at det var betydelige mengder fosfor i kantsedimentet, selv om nivået var noe lavere enn på åker og i de grasdekte buffersonene langs elva. Forskjellen så ut til å skyldes kornfordeling og mengde organisk materiale i sedimentet (figur 12) Også andre forfattere har funnet at kanterrosjon kan bidra til næringsstofftap til vassdrag (f.eks. Sekely m. fl. 2002).



Figur 12 Gjennomsnittlig innhold av total fosfor (mg/kg), P-AL (mg/100 g) glødetap (%) og leireinnhold (%) i fire ulike jord/sedimenttyper. Antall prøver: Elvebunn 7; elvekant 10; buffersoner 6; og åker 9 (fra Skarbøvik og Blankenberg, 2014).

I et mer ravinert terreng (Leiravassdraget på Romerike) fant Bogen og Sandersen (1991) at sedimentbidraget fra kanterrosjon var særlig høyt etter større flommer. De beregnet at kanterrosjonen i Leira var årsaken til ca. 70 % av alt suspendert sediment i elva, mens erosjon fra landbruksjord utgjorde ca. 30 %. Bull (1997) viste at kanterrosjonen i elva Severn i Storbritannia utgjorde om lag 64 % av all sedimenttransport i perioder med høye vannføringer, mens den i snitt bidro med om lag 38 %. Et klima med mer nedbør og hyppigere flomepisoder kan med andre ord gi økt kanterrosjon. Minella m. fl. (2008) viste at kanterrosjon kan kamuflere virkningen av miljøtiltak på jordet. De viste at redusert jordarbeiding ga mindre tap av jord fra åkrene, men samtidig økte bidraget av sediment fra kanterrosjon. Følgelig ble ikke sediment-transporten i elva redusert tross miljøtiltak på jordet.

3.3.1 Erosjonsprosesser langs kantene

Kanterrosjon styres av en rekke ulike faktorer (Fox og Wilson 2010; Hooke 1979, 1980; Thorne, 1982; Lawler 1993a; Knighton 1998; Bloom 1998; Pavlowsky 2004; Julian og Torres 2006; Nardi m. fl. 2012; Gatto 2000; Costard m. fl. 2003); Trimble 2004).

De viktigste faktorene er:

- Lokal geologi, herunder kantmaterialets kornfordeling og lagdeling
- Hydrologiske forhold i elva (flom, tørke, og frekvensen av vannføringsendringer)
- Nedbørforhold (styrtregn, langvarig regn, og dermed jordfuktigheten i kantmaterialet)
- Temperatur, inkludert fryse-tine-mekanismer, dannelse av nålis og permafrost
- Elveløpsformen
- Hva slags vegetasjon som vokser langs elvebreddene

Naturlig nok henger enkelte av disse faktorene sammen, for eksempel kan elveløpsform være knyttet både til hydrologiske forhold, sedimentets kornstørrelse og vegetasjonen langs breddene (Trimble 2004); jf. figur 13.

Kanterosjon kan grovt sett deles opp i to hovedgrupper basert på to ulike prosesser (Hooke 1980; Grayson m. fl. 1997; Julian og Torres 2006; Nardi m. fl. 2012). Den første prosessen er hydraulisk erosjon, og den forårsakes av det skjærstresset som vannet i elva eller bekken påfører elvebredden. Den andre prosessen foregår nede i bakken, i materialet inne i elvebredden. Der kan erosjon oppstå på grunn av porevannstrykket, på norsk kalles dette ofte for grunnvannserosjon. Tabell 4 oppsummerer de to typene erosjon. En kombinasjon av begge prosesser er vanlig.

Tabell 4. Oversikt over to hovedtyper av kanterosjon.

| Erosjonstype | Hovedårsak | Utløses særlig av | Jord-/sedimenttype | Erosjonsforløp |
|------------------------------------|---|---|--------------------|------------------------------------|
| Hydraulisk betinget erosjon | Vannføring i elv/bekk. Vannet utøver skjærstress mot bankene. | Langvarige flomepisoder, høye flomtopper og stor variabilitet i vannføring. | Sand og silt | Partikkel for partikkel |
| Grunnvannserosjon | Fuktigheten i grunnen (i elvebankene) | Høyt poretrykk, vannstrømning i bl.a. makroporer, frost i bakken. | Kohesive jordarter | Større deler av kantene sklir ned. |



Figur 13. Dyrking helt ut til kanten av elva kan både gi stor kanterosjon og høy avrenning av næringsstoffer (Foto: E. Skarbøvik).

3.3.2 Vegetasjon og kanterosjon

Det finnes flere studier av hvordan vegetasjon kan stabilisere jorda i skråninger (Greenway 1987; Collison og Anderson 1996; Waldron og Dakessian 1981; Andreassian 2004), men som Pollen m. fl. (2004) påpekte er det adskillig færre studier av hvordan vegetasjonen stabiliserer elvebankene. Studier av skråninger kan ikke alltid overføres til elvebanker, siden erosjonen langs elvebankene styres av andre prosesser enn i skråninger, og trær og busker i elvebankene ofte har grunnere rotsystemer pga. fuktigheten i bakken (f.eks. Abernethy og Rutherford 2000).

Studier av vegetasjonens stabiliserende effekt for elvebanker viser at vegetasjon alltid stabiliserer bedre enn ingen vegetasjon, herunder jordbruksjord som i perioder ligger uten plantedekke, mens det er mer variable konklusjoner om hvilken type vegetasjon som egner seg best.

I British Columbia, Canada, studerte Beeson og Doyle (1995) luftfoto av mer enn 700 elvesvinger i fire ulike elver. De så at elvesvinger uten vegetasjon hadde 30 ganger mer sannsynlighet for å bli utsatt for kraftig erosjon enn banker med vegetasjon. I Sacramento River i USA sammenlignet Micheli m. fl. (2004) kanterosjon i periodene 1949 og 1997, og konkluderte med at kantsoner med jordbruk hadde 80-150 % høyere erosjon enn kanter med skog. Tilsvarende hadde elvebanker med trær mindre erosjon enn banker helt uten vegetasjon (Pollen m. fl. 2004). De så også at banker med bjørk (river birch; *Betula nigra*) og amerikansk platantre (sycamore; *Platanus occidentalis*) hadde bedre motstand mot erosjon enn svartvier (black willow; *Salix nigra*). Bartley m. fl. (2006) undersøkte kanterosjon i et nedbørfelt i tropisk Australia, og konkluderte med at erosjonen var signifikant mindre i skog enn i

områder uten skog. Dwyer m. fl. (1997) studerte ras i levéer¹ etter en kraftig flom i Missouri River i 1993. De konkluderte med at erosjonen i levéene var signifikant høyere i områder uten kantvegetasjon enn i områder med trær.

Som vi også har nevnt i kapittelet om lover og forskrifter (kapittel 4) er det interessant at forvaltningen i flere land viser økende bekymring for bruk av stein-, betong- og stålkonstruksjoner til stabilisering av bekke- og elvekanter, samtidig som interessen for bruk av vegetasjon øker (Pollen m. fl. 2004; Piégay m. fl. 2005). Vegetasjon er adskillig mindre kostnadskrevenne enn ingeniørarbeid langs kantene. Helt siden 1991 har USA betalt ut subsidier for å plante trær langs elver (Trimble 2004). I Norge gis som kjent tilskudd for planting av vegetasjon i buffersoner, men bare hvis vegetasjonen kan benyttes til matproduksjon (som regel grovfôr).

3.3.3 Gras, busker eller trær?

For å forstå hvorfor forskjellige vegetasjonstyper påvirker kanterosjonen ulikt, er det nødvendig å skjønne de naturlige prosessene langs kantsonene. I den forbindelse er det særlig viktig å påpeke at vegetasjon langs bankene kan påvirke skråningens stabilitet både hydrologisk og mekanisk. For å komplisere det hele kan vegetasjonen påvirke begge disse prosessene både positivt og negativt. Tabell 5 oppsummerer dette for trær, som er den vegetasjonstypen som er kjent som å beskytte best mot kanterosjon (f.eks. Beeson og Doyle, 1995; Micheli m. fl., 2004; Pollen m. fl. 2004, Trimble 2004 og Bartley m. fl. 2006).

Tabell 5. Oversikt over mekaniske og hydrologiske virkninger av træs effekt på kanterosjon.

| Effekt \ Kraft | Mekaniske (fysiske) krefter | Hydrologiske krefter |
|----------------|---|---|
| Positiv | Røttene forankrer jorda/sedimentet langs elvekantene. | Reduserer porevannstrykket siden røttene tar opp fuktighet fra bakken. |
| Negativ | Vekten av trærne kan gi et sig nedover skråningen. Trevelt kan gi økt lokal erosjon. | Røttene skaper kanaler som gjør at vannet kan trenge lenger ned i jorda, og dermed øker porevannstrykket. |

De *positive hydrologiske* effektene av trær i kantsoner er knyttet til redusert jordfuktighet, fordi trerøttene trekker vann opp fra grunnen. Grasrøtter gjør det samme, men i mindre grad. I tillegg fordampes det vann fra vegetasjonen (evapotranspirasjon), og trekronene reduserer andelen vann som faller til bakken (Simon og Collison, 2002; Pollen m. fl. 2004). Mindre vann i bakken betyr lavere poretrykk og dermed redusert risiko for erosjon og overflateavrenning (Rinaldi og Casaglib 1999; Fox og Papanicolaou 2007). De *negative hydrologiske* effektene er også knyttet til poretrykket. Røtter krymper når de tørker inn, og dette kan skape store porer i jorda (makroporer). Når regnet kommer etter en tørkeperiode kan det derfor trenge lengre ned i bakken der det er vegetasjon enn der det er bar jord.

¹ En levee er en elvevoll, og ligger som en forhøyning langs elveløpet på en elveslette. Leveer oppstår i flomperioder når elva flommer ut over elvesletta. Da faller vannhastigheten brått, og materiale som elva har fraktet i suspensjon blir bunnfelt nær bredden. (Kilde: Store Norske Leksikon)

De *positive mekaniske* effektene av vegetasjon er knyttet til at røtter armerer jorda, noe som er beskrevet i en lang rekke studier (Greenway, 1987; Thorne 1990; Abernethy og Rutherford 1998; 2000; Gray og Barker 2004; Genet m. fl., 2005; Burylo m. fl. 2011, Vergani m. fl., 2012). Røtter fra trær trenger lenger ned i jorda og beskytter derfor bedre enn de grunnere røttene fra gras. *Mekaniske negative effekter* av vegetasjonen skyldes stort sett vekten av tyngre trær, som kan øke det vertikale trykket i en skråning og derved forårsake jordsig (Greenway, 1987; Collison og Anderson, 1996; Abramson m. fl. 2001; Pollen m. fl. 2004). Videre kan trær skape lokal erosjon ved trevelt ut i elva.

Som det fremgår av tabell 5, er røttene viktig både for de mekaniske og hydrologiske kreftene som hindrer eller utløser kanterosjon. En vanlig indeks for røtter er RAR (root area ratio), som gir et mål på rot-tettheten. Rot-tetthet kan variere kraftig. Ved elvekantene er vannspeilet ofte rett under overflaten, og de fleste røtter går derfor ikke lenger ned enn omlag 50 cm (Jackson et al, 1996; Sun m. fl., 1997; Tufekcioglu m. fl., 1999). Dette kunne potensielt bety at røttene armerer mindre langs elvekanter enn ellers, men mange studier av skråningsstabilitet (f.eks. Wu m. fl., 1979; Waldron og Dakessian, 1981; Ziemer, 1981; Gray og Leiser, 1982; Greenway, 1987; Riestenberg, 1994; Schiechtl og Stern, 1996) har vist at selv lav rot-tetthet kan øke skjærstyrken til jorda vesentlig, sammenlignet med jord uten røtter. Abernethy og Rutherford (2000) modellerte stabiliteten i elvekanter med og uten vegetasjon, hvor 'med vegetasjon' ble modellert som utvokste trær. De konkluderte med at røttene i sterk grad bidro til å armere elvekantene, også i scenarier med verst mulige hydrologiske forhold. På den annen side fant Burylo m. fl. (2011) at urter og busker stabiliserte toppjorda i fjellskråninger i alpene bedre enn unge trær, hovedsakelig fordi busker og urter hadde et tettere rotsystem i toppjorda enn hva trærne hadde. Trærne var imidlertid bedre egnet til å armere de dypere lagene i jorda, siden røttene trengte ned i berggrunnen.

I tilfeller hvor elva undergraver rotsystemene vil trær falle ut i elva (f.eks. Gatto 1984). Rotsystemet tar med seg jord ut i elva, og trestammene kan hindre vannet og dermed skape turbulens som kan gi økt erosjon langs kantene. Samtidig må det legges til at i slike tilfeller vil vannhastigheten bremse opp, noe som kan være fordelaktig ved flomepisoder, ikke minst nedstrøms.

3.3.4 Oppsummering av kanterosjon

Kanterosjon er en naturlig prosess, men påvirkes av menneskelig aktivitet. Norske leirelver drenerer ofte gjennom jordbrukslandskap, og kanterosjon kan derfor gi tilførsler av naturlig fosforrike partikler i tillegg til fosfor gjødsling og husdyr. Kanterosjoner styres av faktorer som; lokal geologi, hydrologiske forhold i elva, nedbørsforhold, temperatur, elveform og vegetasjon langs bredden. Kanterosjon kan grovt deles opp i hydraulisk erosjon og grunnvannserosjon, men en kombinasjon av begge prosesser er vanlig.

Studier dokumenterer at vegetasjon stabiliserer elvebanker, men det er variable konklusjoner på hvilke vegetasjon som egner seg best. Trær er imidlertid den vegetasjonstypen som er kjent som å beskytte best mot kanterosjon, men det er både fordeler og ulemper med trær langs kantene.

For å oppsummere, så vil trær langs kantene motvirke erosjon fordi:

- De store røttene bidrar betydelig til å armere jorda langs elvebreddene, mens de små, fine rotsystemene bidrar til å beskytte jorda mot skjærstresset fra vannet i bekken/elva.
- Røttene trekker opp vann fra grunnen og reduserer derfor porevannstrykket.
- I skog er det mindre fare for at frost trekker langt ned i jorda enn i gras og områder uten vegetasjon (f.eks. Thorne, 1982). Frost i kantene av elva kan øke kanterrosjonen (Lawler, 1993b).
- Trestammene vil redusere hastigheten på flomvann og derved hindre erosjon som følge av raskt strømmende overflatevann (Gray og McDonald, 1989).
- Død ved i elva kan også redusere vannhastighet under flomepisoder, og dermed hindre nedstrøms erosjon.
- Ved isgang kan trestammer og røtter beskytte mot erosjon forårsaket av isblokker som skurer mot breddene.

Men det er også visse negative effekter av trær, og disse kan oppsummeres slik:

- Vekten av trærne kan øke jordsiget nedover skråningene
- Trevelt (figur 14) kan føre til økt erosjon lokalt, der hvor roten ble rykket opp, og på motsatt side av elvebredden. Det siste er oftest ikke tilfelle der elva er smal nok til at trestammen blir liggende som en bro over elva.
- Mange trestammer og røtter kan øke turbulensen i vannet og derved øke erosjonen
- Tre kroner skaper skygge på bakken, og kan medføre at bunndekket blir skrint og derfor ikke beskytter like bra mot erosjon som f.eks. et grasdekke.

Når det gjelder kanter med gras, vil røttene sjeldent være spesielt dype og slike kanter blir ofte underkuttet av elvevannet. Trimble (2004) rapporterte en undersøkelse i amerikanske elver som viste at undergraving av elvekanter med tilhørende erosjon var vanlig i grasdekte elvekanter ved nedbør/fuktige forhold, men at tilsvarende erosjon omtrent ikke ble observert i det hele tatt i skogsområder. Det er også et interessant fenomen at elvebredder som dekkes av gras ofte blir ganske bratte, ettersom erosjonen skjer ved undergraving av bakken, og dermed faller store grastuer ned i vannet. Enkelte slike elver eller bekker som renner gjennom gras kan grave seg nedover og selve elveleiet blir smalt, noen ganger kan nesten elva renne som i en tunnel (Trimble 2004). I slike tilfeller kan kanterrosjonen bli relativt lav, men til gjengjeld kan den vertikale gravingen gi ustabile elveløp, ikke minst der det finnes kvikkleire.

Vår konklusjon, basert på den gjennomgåtte litteraturen, herunder undersøkelser av Beeson og Doyle (1995); Micheli m. fl. (2004); Pollen m.fl. (2004), Trimble (2004) og Bartley m. fl. (2006) er at trær og skog beskytter adskillig bedre mot kanterrosjon enn både gras og åpen åker. Som Harmel (1997) også konkluderte, så vil ikke trær langs kantene alltid forhindre erosjon, men de reduserer sannsynligheten for det.



Figur 14. Trevelt kan øke erosjonen lokalt i elva. På den annen side har døde trær i elvene vist seg å gi gode levekår for fisk og bunndyr; jf. kapittel 3.4 (Foto: E. Skarbøvik).

3.4 Biomangfold

Vegetasjonen langs elver har stor betydning for biomangfoldet, både i vann og på land. Dette er et meget stort fagfelt, og vi har ikke kunnet gjennomføre en omfattende litteraturstudie innenfor rammene av dette prosjektet. De viktigste aspektene ved biomangfoldet i kantsonene er inkludert under.

3.4.1 Kantsoner og terrestrisk biomangfold

Arealet på begge sider av ei elv eller en bekk, særlig i lavereliggende områder, blir ofte oversvømt. Flomvannet setter igjen finkornete partikler langs kantene, og gjør dermed jorda der svært fruktbar (figur 15). Dette er noe av årsaken til at trær og kratt langs vassdrag ofte har stort mangfold i plantearter, med flere typer løvtrær som gråor, svartor, hegg og ulike pil- og vierarter (Miljølære.no).

Luftfuktigheten i kantsonene er ofte høy, noe som gir gode forhold for ulike typer mose, lav og sopp. Krattskogen langs vassdragene kan følgelig være levested for flere sjeldne og truede arter av biller, lav, moser og sopp (Miljølære.no). Naturtypen utgjør en viktig spredningskorridor for mange arter og inneholder flere rødlistearter (Direktoratet for naturforvaltning, 2007).

Gråor/heggeskoger er viktig for fugl og det kan finnes opp mot 3000 fuglepar per kvadratkilometer i slik skog, noe som er på høyde med tropiske regnskoger (Direktoratet for naturforvaltning, 2007). Undersøkelser av hogstfelt hvor et belte av skog sto igjen mot elva, viste at dette trebeltet var et meget viktig habitat for fugl (Hågvar og Bækken 2005).

Med nærhet til drikkevann og god mulighet for skjulesteder, har disse sonene i naturlig tilstand stor betydning for flere typer små pattedyr og amfibier. De danner også korridorer for større pattedyr, som hjort, elg og rådyr, samt gaupe (f.eks. Direktoratet for naturforvaltning, 2007).

Sammenlignet med dyrket mark har kantsoner med naturlig vegetasjon betydelig høyere biomangfold. Buffersonen har høyere produktivitet, og høyere karbonsekvestering og nitrogenimmobilisering enn dyrkede monokulturer (Hill 1996; Marquez m. fl. 1999; Young-Mathews m. fl., 2010). Det er også påvist at mikrobefunnene i jorda endrer seg mellom buffersoner og åker (Stutter og Richards, 2012).



Figur 15. Busker og trær langs elver og bekker kan ha stort biomangfold og være levested for en rekke ulike insekter, fugler, amfibier og små pattedyr (Foto: A-G. B. Blankenberg).

Nicholls og Altieri (2013) viste at biomangfold i jordbruksområder er svært viktig for pollinerende insekter. Trettifem prosent av den globale matproduksjonen er avhengig av pollinering ved hjelp av dyr, og det er derfor av vesentlig betydning å opprettholde – eller restaurere – kantsoner med ugras og blomster som kan tiltrekke seg pollinatorer.

En oppsummering av kantsonenes betydning for biomangfold i vestre deler av USA (Montgomery 1996) viste bl.a. til at 75-80 % av alle regionens terrestriske dyrearter var avhengig av denne sonen i deler av livet. Samtidig ble det estimert at denne typen habitat bare utgjør om lag 1 % av det totale landarealet i denne delen av USA, noe som illustrerer det enorme biomangfoldet i disse sonene. Det ble også vist til at kantsonene var svært viktige for fuglelivet, og enkelte steder var kantsonene det eneste stedet enkelte fuglearter var observert. I områder av USA med intensivt jordbruk eller på grassletter er trær langs kanten av vassdragene essensielt for at mange arter av vilt kan overleve. Denne undersøkelsen kan ikke direkte overføres til norske forhold, siden våre jordbruksareal er adskillig mindre omfattende enn i USA, og også mer differensierte. Undersøkelsen illustrerer likevel den betydningen kantsoner med naturlig vegetasjon kan ha for biomangfoldet.

Det er også verdt å merke seg at døde trær i slike soner kan øke biomangfoldet betydelig. Stående døde trær er viktige for bl.a. hakkespetter, mens velte trær skaper habitat for mange små pattedyr. Begge deler er også viktige levested for ulike insekter, som igjen er mat for dyr og – hvis de faller i elva – fisk (f.eks. Montgomery 1996). Henger det døde trær delvis ut i elva kan de være gode habitat for ulike amfibier. Skjøtsel av kantsoner, med fjerning av døde trær og plantedeler, kan derfor virke svært negativt på biologien i området.

3.4.2 Kantsoner og akvatisk biomangfold

Når det gjelder akvatisk biologi er det særlig kantskogens betydning for fisk som er undersøkt. Kantsoner har flere funksjoner som er viktige for fisk, spesielt med hensyn til mattilgang og habitat. Nedfall av løv og insekter fra trær skaper mattilgang for bunndyr (Gregory m. fl. 1991). Trær skaper også ly for fisken, og den gir skygge som kan redusere oppvarming om sommeren, noe som ikke minst er viktig for laksefisk (Pusey og Arthington 2003). Elvemuslingen har utviklingsstadier på gjellene til laksefisk og påvirkes derfor indirekte av temperatur (f.eks. Mejdell Larsen 2012).

Tema som omtales andre steder i denne litteraturgjennomgangen er også viktige for fisk: God kantvegetasjon kan stabilisere elvebreddene og redusere erosjon, og vil derved gi færre partikler i elvene, og minke risikoen for nedslamming av gytegrus. Videre vil filterkapasiteten til kantsoner være viktig for å redusere avrenning av plantevernmidler og næringsstoffer, og derved redusere faren for eutrofiering i nedstrøms innsjøer.

Lie og Sørensen (2013) undersøkte laksefisk i et norsk leirvassdrag og understreket betydningen av å opprettholde skog både langs hovedelva og sidevassdragene. Særlig var sidebekkene viktige for gyting og oppvekst av ungfisk, og trær langs disse sidevassdragene ble ansett som meget betydningsfullt for fisken (figur 16).



Figur 16. Trær skaper skjul og skygge for fisk, noe som ikke minst er viktig i sidebækker hvor laksefisk kan gå opp og gyte (Foto: E. Skarbøvik).

Begrepet Large Woody Debris (LWD) har ikke noen kjent norsk oversettelse, men kan beskrives som døde trestammer og greiner i elva. Degerman m. fl. (2004) utførte en undersøkelse i svenske elver og fant at mengden av ørret økte med mengden av LWD. De største ørretene ble fanget i områder av elva med høy andel LWD. Dette bør være en viktig del av debatten om skjøtsel langs kantsoner til vassdrag – det er ikke nødvendigvis slik at fjerning av trestammer i elva er bra for biologien.

Harding m.fl. (1998) undersøkte hvor raskt biologien ville komme seg etter at kantvegetasjon i jordbruksvassdrag ble restaurert. De fant at det kunne ta flere tiår før vassdraget ble fullstendig rehabilitert. De pekte også på behovet for å se helheten i vassdraget, og at hvis rehabilitering betød trær bare på enkelte steder langs elva, så ville ikke dette være tilstrekkelig for å få tilbake den opprinnelige, naturlige biologien i kantsonene (figur 17).



Figur 17. En kontinuerlig korridor med naturlig vegetasjon er viktig for biomangfoldet. Elve- og bekkestrekninger uten naturlig vegetasjon gir dårlig ly mot predatorer (Foto: E. Skarbøvik).

3.4.3 Oppsummering av biomangfold

Vegetasjonen langs elver har stor betydning for biomangfoldet, både i vann og på land. De antatt viktigste aspektene ved biomangfoldet i kantsonene kan kort oppsummeres som vist i tabell 6:

Tabell 6. Antatt viktigste aspekter ved biomangfold i kantsoner.

| Terrestrisk: | Akvatisk: |
|---|--|
| Mange plantearter | |
| Mange typer mose, lav og sopp | Mattilgang, og habitat for fisk |
| Levested for insekter | Ly og skygge for fisk (påvirker også elvemusling) |
| Viktig naturtype som inneholder flere rødlistearter | Reduserer partikkel og pesticidtransport til elv og innsjø, og bedrer derfor levevilkår for fisk |
| Spredningskorridor | Mattilgang (nedfall fra trær) for bunndyr |
| Viktig fuglehabitat | |
| Skjulested for små pattedyr og amfibier | |
| Habitat for fisk | |
| Korridorer for større pattedyr | |
| Viktig for pollinerende insekter | |

3.5 Kantsoners mulige bidrag til flomdemping

Kantsoners evne til å dempe flommer kan diskuteres på basis av effekten av den nærmeste (6-10 meter) sonen langs elveløpet, eller i større skala, dvs. om flommen kan dempes gjennom en mer helhetlig forvaltning av elva og dens nærmeste omgivelser.

3.5.1 Flomdempende effekt av trær langs elveløpet

Ser vi på muligheten for flomdemping i et trangere belte langs vassdragene, er det særlig effekten av trær som er aktuell. Vi har ikke funnet noe litteratur som tyder på at graskledde buffersoner kan redusere flomtopper.

I teorien kan trær langs vassdrag redusere flom på flere måter (f.eks. Gray og McDonald, 1989; O'Connel m.fl. 2004; EEA 2015; Rusch 2012): (1) trekronene holder tilbake regnvann (intersepsjon), som igjen kan fordampe tilbake til atmosfæren; (2) trærnes dype røtter sørger for at regnvannet kan infiltrere lenger ned i bakken, (3) skogsjorda kan ha god kapasitet til å holde på vann pga. mye organisk materiale på bakken (sammenlignes gjerne med en svamp-lignende effekt), og (4) flomvannet kan forsinkes når det renner mellom store stammer, i motsetning til om vannet får 'fritt leide' over åpen åker eller grasareal.

Trærnes flomdempende effekt har først og fremst blitt diskutert for *skog*, antakelig fordi både empiriske studier og modellering krever et visst areal for å kunne vurdere endringer i hydrologi som følge av arealbruksendringer. Skogens flomdempende effekt har vært mye diskutert opp gjennom årene. En hovedkonklusjon i det norske Hydra-programmet (Eikenæs m.fl. 2000) var at endringer i skogbruk og skogtilstand ikke har ført til målbare forandringer i flomforhold i Glommas nedbørfelt.

Mens det har vært få endringer i skogsarealet i Glommas nedbørfelt på 1900-tallet, har skogsvolumet økt med om lag 70%. Det ble antatt at denne økningen i skogsvolum kan ha ført til økt vannforbruk av trærne og dermed redusert avrenning. Siden det meste av vannforbruket skjer i vekstsesongen, var det mest sannsynlig at mindre sommer- og høstflommer ble noe dempet. Det ble antatt at vårflommen, som skyldes snøsmelting, noen ganger i kombinasjon med regnvær, ikke ville bli nevneverdig dempet hvis skogsvolumet økte. I en gjennomgang av kunnskap rundt asiatiske flommer, advarte FAO (2005) mot å ha for sterk tro på at skog kan dempe flommer. De påpekte at troen på skogens evne til å dempe flommer har resultert i en for sterk fokus på skogplanting oppstrøms, og for liten fokus på helhetlig vassdragsforvaltning, ofte til stor ulempe for menneskene som lever i områdene.

Vitenskapelige faktorer som taler mot at skog kan redusere flommer er bl.a. at det er stor variasjon i trekronene evne til å ta opp vann og sørge for at det fordampes tilbake til atmosfæren (prosessen kalles intersepsjon). Gjennom intersepsjon kan nåletrær redusere andelen vann som når bakken med 25-45%, mens løvtrær som regel bare kan stoppe 10-25%. I perioden uten blad synker dette til 5-10%, og det er ofte da flere av flommene inntreffer i Vest-Europa. Skogsjordas evne til å fungere som en svamp kan også diskuteres: Mange flommer skjer etter langvarig nedbør, og i slike tilfeller er skogsjorda allerede mettet, og vil ha liten evne til å holde tilbake vannet (<http://www.forestry.gov.uk/fr/infdf7t9jf8>).

Imidlertid viser en nyere storskala europeisk undersøkelse at skog kan ha en merkbar effekt på flomdemping (EEA 2015). Studien benyttet data fra 287 nedbørfelt, med mer enn 65.000 delnedbørfelt i skog. De påpekte at tolkning av resultatene var vanskelig, ikke minst pga. komplekse prosesser i skogshydrologien, men de første resultatene fra prosjektet stadfester likevel at skogen har god evne til å forsinke og fordrøye vannet: De fant at tilbakeholdelse av vann (retensjon) var 25 % større i nedbørfelt hvor skog dekket 30% av arealet, enn i nedbørfelt hvor skog dekket bare 10% av arealet. Videre var retensjonen 50% større i nedbørfelt med 70% skog enn i felt med 10 % skog. Retensjonen var størst om sommeren i alle felt, noe som kan gjenspeile at trærne tar opp mest vann i vekstsesongen. Nåletrær holdt generelt tilbake 10% mer vann enn løvtrær.

3.5.2 Flomdemping ved helhetlig forvaltning av elva og dens nedbørfelt

Effekten av arealbruk på flom er et omfattende tema som er undersøkt av en rekke forskere, men hvor det fremdeles finnes en mengde spørsmål (Deasy m. fl. 2014). Ofte er det enklest å oppdage effekt av urbanisering, mens andre arealbruksendringer gir mer usikre utslag på flomforholdene (Wheater og Evans, 2009). I enkelte studier har imidlertid arealbruksendringene i landbruket vært store. Flommer i Elben ble studert av van der Ploeg og Schweigert (2001); de konkluderte med at flomtoppene hadde sammenheng med arealbruksendringene i jordbruket i Øst-Tyskland. Etter andre verdenskrig hadde små jordlapper blitt slått sammen til større kooperativer, og bruken av tyngre jordbruksmaskiner økte, noe som igjen reduserte fordrøyningen av vann slik at flomtoppene økte. Wheeler og Evans (2009) pekte også på at risikoen for flom et landbrukslandskap kan øke ved jordpakking, eller hvis dreneringen økes.

O'Connor m.fl. (2004) gjennomførte et omfattende litteraturstudie om arealbruk og flom i landbruksområder i Storbritannia. De fant flere bevis for at endringer i arealbruk og forvaltning av landbruksområder hadde påvirket avrenningen lokalt. Prosessene er imidlertid komplekse, og de fant derfor kun begrenset bevis for at effektene kunne oppdages lenger nedover i vassdragene. De listet allikevel omlegging fra jordbruk til skog i uproduktive områder som ett av flere tiltak for å redusere flom. Andre tiltak som ble foreslått var bl.a. retensjonsområder, konstruerte våtmarker, samt en rekke tiltak i kategorien 'god agronomisk praksis', som bl.a. gir porøs jord og god vanninfiltrasjon.

Det nederlandske prosjektet "Ruimte voor de Rivier" ("Plass til elva", 2005-2015) har hatt som mål å gi mer plass til flommen. Prosjektet har utført tilsammen ni typer tiltak i mer enn 30 lokaliteter langs vassdrag i landet, slik at elvene kan flomme over i mer kontrollerte former, og flomvannet forsinkes

nedstrøms (<https://www.ruimtevoorderivier.nl/english/>). Tiltakene omfatter bl.a. økning av 'lagringsplass' for vannet på sidene av elveløpet, senkning av flomsletter, senkning av elveløpet og restaurering av landskapet rundt elva slik at dette bedre kan fungere bedre som en 'naturlig svamp'.

Det må også påpekes at flere studier har vist til at en økning i flommer hovedsakelig er et resultat av klimaet, og ikke av arealbruken. Tu m.fl. (2005) konkluderte med at ekstreme flommer i elva Meuse (Maas) på 1980-tallet skyldtes klimaet, mens Crooks og Davies (2001) fant at arealbruksendringer hadde hatt liten effekt på flommene i Themsen i perioden 1961-1990.

3.5.3 Oppsummering av flomdemping

Trær langs vassdrag kan i teorien redusere flom da de reduserer/forsinker regnvann i å nå bakken, øker infiltrasjonsevnen i jorda, samt øker jordas kapasitet til å holde på vannet. Det er mye som tyder på at skogen kan redusere flommen noe, spesielt om sommeren når trærne trekker opp mest vann. Effekten er ofte enklest å påvise oppstrøms, i små nedbørfelt. Dette kan skyldes at det er en rekke hydrologiske prosesser i et nedbørfelt, som gjør det vanskelig å peke på enkelte tiltak eller arealbruksendringer i store nedbørfelt.

Hvorvidt en rekke med trær langs med vassdragene vil ha samme flomdempende effekt er usikkert. Mest sannsynlig vil trær langs med vassdrag ha en viss effekt lokalt, ved at vannets hastighet kan dempes under oversvømmelser, når vannet renner mellom trær og ikke over åpen åker eller grasland. Trær som har falt over elva kan også ha flomdempende effekt, ved at de demmer opp vannet midlertidig. Dette kan skape oversvømmelser lokalt, men kan gi en viss flomdemping nedstrøms.

Store arealbruksendringer kan ha flomdempende – eller flomforsterkende – effekt, men at mindre endringer i arealbruken ikke vil ha store utslag. Hydra-prosjektet konkluderte med at skog i Norge ikke hadde vesentlig innvirkning på flomtoppene i Glommavassdraget. Det er derfor å anta at trær langs elvekantene heller ikke vil dempe flomtoppene i Norge, ikke minst siden mange av flommene skjer i den kalde årstida, når trærne ikke suger opp mye vann fra bakken. Unntak kan finnes i små bekker og nedbørfelt hvor trærnes vannforbruk kan redusere vannmengdene og trestammene kan bremse vannhastigheten. Det må understrekes at det ikke er funnet litteratur som *direkte* understøtter denne konklusjonen

Når det gjelder flomskader er saken en annen: Trær langs elva har vist seg å beskytte kantene mot erosjon adskillig bedre enn f.eks. gras; se Kapittel 3.3.

4 Lovverk og forskrifter

Bestemmelser om kantsoner langs vassdrag finnes i flere lover og forskrifter. En viktig årsak til at dette temaet er høyt på dagsorden i norsk forvaltning, er forskrift om rammer for vannforvaltningen (vannforskriften; FOR-2015-06-25-805), som implementerer EUs rammedirektiv for vann i Norge (EC 2000). Forskriften skal «sikre en mest mulig helhetlig beskyttelse og bærekraftig bruk av vannforekomstene», noe som skal oppnås gjennom regionale forvaltningsplaner med tilhørende tiltaksprogrammer. Vannforskriften er hjemlet i tre lover; Forurensingsloven (LOV-1981-03-13-6); Lov om vassdrag og grunnvann (Vannressursloven) (LOV-2000-11-24-82); og Plan og bygningsloven (LOV-2008-06-27-71). De to siste har bestemmelser om kantsoner.

Bestemmelser om kantsoner finnes også under Lov om jord (Jordlova), men Vannforskriften er ikke hjemlet i denne loven. Jordlova tilhører dermed ikke «vannforskriftfamilien» sitt lovverk.

Forskrift om bærekraftig skogbruk inneholder også bestemmelser om buffersoner.

4.1 Lov om vassdrag og grunnvann (Vannressursloven)

I Vannressurslovens § 11 (*kantvegetasjon*) *første ledd står det*: «Langs bredden av vassdrag med årssikker vannføring skal det opprettholdes et begrenset naturlig vegetasjonsbelte som motvirker avrenning og gir levested for planter og dyr. Denne regelen gjelder likevel ikke for byggverk som står i nødvendig sammenheng med vassdraget, eller hvor det trengs åpning for å sikre tilgang til vassdraget.» Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) er vassdragsmyndighet for dette første ledd av paragrafen. Det er grunneieren som er ansvarlig for å opprettholde kantvegetasjonen.

I henhold til paragrafens andre ledd, kan grunneier, tiltakshavere og berørte fagmyndigheter «kreve at kommunen fastsetter bredden på beltet. Bredden kan også fastsettes i rettslig bindende planer etter plan- og bygningsloven.» Det er dermed kommunen som kan fastsette bredden på kantsonen, i planer som de utarbeider i henhold til Plan- og bygningsloven. Dette gjøres basert på vurderinger hvor fordeler og ulemper veies opp mot hverandre.

Siste ledd i paragrafen sier at «Vassdragsmyndigheten kan i særlige tilfelle fritta for kravet i første ledd». Det er Fylkesmannen som er vassdragsmyndighet etter tredje ledd, og som kan gi fritak for kravet om kantvegetasjon (Høegh 2015).

I Vannressursloven går det frem at det skal være et «naturlig vegetasjonsbelte» og i dette ligger det ingen plikt til å skjytte kantvegetasjonen, og der er ingen hjemmel i loven til pålegg om å skjytte eller rydde i sonen ved rotvelt eller lignende.

Vannforskriften (Forskrift om rammer for vannforvaltningen)

Vannforskriftens § 25 omhandler tiltaksprogram, og stadfester at slike tiltaksprogram bl.a. skal omfatte tiltak til beskyttelse og forbedring av tilstanden i vannforekomstene (punkt a); samt kontroll med, forebygging av, og om relevant, forbud mot utslipp fra punktkilder og diffuse kilder som kan forårsake forurensning i vann (punkt f). Buffersoner er ikke spesielt behandlet her.

4.2 Plan og bygningsloven (PLB)

Vannforskriften er hjemlet i Plan og bygningslovens (PLB) § 3-6 Felles planleggingsoppgaver; §8-1 Regional plan og § 9-7 Plansamarbeid mellom regioner og kommuner. Lovens formål er bl.a. å bidra til

å samordne statlige, regionale og kommunale oppgaver og planer, og gi grunnlag for vedtak om bruk og vern av ressurser. Loven gjelder for hele landet, herunder vassdrag, og kan, som nevnt over, bl.a. brukes til å fastsette bredden på vegetasjonen i kantsonene.

I lovens § 1-8, «Forbud mot tiltak mv. langs sjø og vassdrag» står det bl.a. at «i 100-metersbeltet langs sjøen og langs vassdrag skal det tas særlig hensyn til natur- og kulturmiljø, friluftsliv, landskap og andre allmenne interesser.» Her bør det kommenteres at ordet «tiltak» i lovverket kan virke noe forvirrende, siden det i noen tilfeller kan bety inngrep, i andre tilfeller avbøtende tiltak/miljøtiltak. «Tiltak» i PBLs § 1-8 leses her som «inngrep».

Videre står det i PLB at «For områder langs vassdrag som har betydning for natur-, kulturmiljø- og friluftsinnteresser, skal kommunen i kommuneplanens arealdel etter § 11-11 nr. 5 vurdere å fastsette grense på inntil 100 meter der bestemte angitte tiltak mv. ikke skal være tillatt.»

Paragrafene 11-8 omhandler såkalte «Hensynssoner», som betyr at kommuneplanens arealdel kan anlegges soner hvor det vises særlig hensyn og restriksjoner. Slike hensynssoner kan bl.a. være areal «med særlige hensyn til landbruk, reindrift, friluftsliv, grønnstruktur, landskap eller bevaring av naturmiljø eller kulturmiljø» (annet ledd, Punkt c). PBLs § 11-7 omhandler «arealformål i kommuneplanens arealdel» mens §§ 11-10 og 11-11 omhandler bestemmelser for disse arealformålene. To typer arealformål er av interesse her: Punkt 3; Grønnstruktur (naturområder, turdrag, friområder og parker) og punkt 6; Bruk og vern av sjø og vassdrag, med tilhørende strandsone (ferdsel, farleder, fiske, akvakultur, drikkevann, natur- og friluftsområder hver for seg eller i kombinasjon). Når det gjelder det siste arealformålet åpnes det for at det «for områder inntil 100 meter langs vassdrag skal være forbudt å sette i verk bestemt angitte bygge- og anleggstiltak. I slikt område kan det også gis bestemmelser for å sikre eller opprettholde kantvegetasjon, og for å sikre allmennhetens tilgang til strandsonen».

I NOU om overvann i byer og tettsteder (NOU 2015:16) foreslås det endringer i PLB. Her foreslås bl.a. at underformålene under «Grønnstruktur» utvides til også å omfatte områder for vanddisponering, slik at § 11-7 annet ledd punkt 3 vil lyde (*forslag til ny tekst i kursiv*): «Grønnstruktur. Underformål: naturområder, *områder for vanddisponering*, turdrag, friområder og parker». Videre foreslås en endring i § 1-8 *Forbud mot tiltak mv. langs sjø og vassdrag* (*forslag til ny tekst i kursiv*): For områder langs vassdrag som har betydning for natur-, kulturmiljø- og friluftsinnteresser, *eller for vassdragets kapasitet*, skal kommunen i kommuneplanens arealdel etter § 11-11 nr. 5 vurdere å fastsette grense på inntil 100 meter der bestemte angitte tiltak mv. ikke skal være tillatt.» I NOUen er det dermed tatt høyde for at klimaendringer kan gi økt behov for flomareal langs vassdrag, men det går ikke frem hva slags vegetasjon slike flomareal bør ha. NOUen peker imidlertid på at kantarealene langs vassdrag også har en viktig funksjon ved flom, bl.a. i form av flomdemping. Det er i den forbindelse interessant at lovverket i enkelte land i Europa og enkelte stater i USA er under endring for å imøtekomme et behov for økt bredde av elveløpet og flomsletten (Piégay m.fl. 2005). Dette medfører at elva skal kunne ha rom til å forflytte seg sideveis gjennom naturlig kanterosjon, innenfor et definert belte.

4.3 Lov om jord (Jordlova)

Jordlova hjemler hovedsakelig to typer virkemidler i kantsoneforvaltningen (Bang 2015):

- Juridiske krav (inngrep i driftsmåten regulert i loven)
- Tilskudd under forutsetning av miljøforsvarlig drift

4.3.1 Juridiske krav:

Formålet med Jordlova i henhold til dens §1, er å legge til rette for at arealressursene brukes på en måte som er mest mulig til gagn for samfunnet og de som jobber i landbruket. I lovens § 1 presiseres det også at arealressursene skal forvaltes miljøforsvarlig.

I henhold til loven er det *driveplikt* på jordbruksareal (§ 8). I § 9, om bruk av dyrka og dyrkbar jord, heter det at «Dyrka jord må ikkje brukast til føremål som ikkje tek sikte på jordbruksproduksjon. Dyrkbar jord må ikkje disponerast slik at ho ikkje vert eigna til jordbruksproduksjon i framtida.»

Hovedregelen er altså at areal som i dag brukes til produksjon av mat, også i fremtida skal brukes til dette. I enkelte vannområder har derfor arealet langs elver og bekker blitt benyttet til grasproduksjon. På den måten dyrkes det ikke korn eller grønnsaker helt til elvekanten, samtidig som jorda fremdeles benyttes til matproduksjon.

Unntakene fra krav til matproduksjon finnes i §9 annet ledd, der det heter at «Departementet kan i særlege høve gi dispensasjon dersom det etter ei samla vurdering av tilhøva finn at jordbruksinteressene bør vika. Ved avgjerd skal det mellom anna takast omsyn til godkjende planar etter plan- og bygningslova, drifts- eller miljømessige ulemper for landbruket i området, kulturlandskapet og det samfunnsgagnet ei omdisponering vil gi. Det skal òg takast omsyn til om arealet kan førast attende til jordbruksproduksjon. Det kan krevjast lagt fram alternative løysingar.»

I 2013 kom Rundskriv M-1/2013, som gir en endring i Jordlova om omdisponering og deling etter jordlovas § 9: «*Forbudet i § 9 gjeld ikkje omdisponering der vassdragsmyndigheita har gitt løyve til vassdragstiltak, jf. vannressurslova § 8. Når energi- eller vassdragsmyndigheita har gitt endeleg samtykke til tiltaket, gjeld § 12 ikkje for anlegg for overføring eller omforming av elektrisk energi som nemnt i energiloven § 3-1 tredje ledd eller for anlegg for produksjon av energi etter energiloven, vannressursloven eller vassdragsreguleringsloven.*» (§12 gjelder deling av jordbruksjord). § 8 i Vannressursloven omhandler altså *konsesjonspliktige* tiltak. Paragrafen sier bl.a. at «Ingen må iverksette vassdragstiltak som kan være til nevneverdig skade eller ulempe for noen allmenne interesser i vassdraget eller sjøen...» Om dette kan tolkes slik at landbruksareal langs vassdrag kan omdisponeres fra matproduksjon til buffersoner med f.eks. trær og busker, er ikke helt klart for oss. Rundskrivet presiserer bl.a. at «Som *dyrka jord* regnes fulldyrka jord, overflatedyrka jord og innmarksbeite.» og at «Forbudet mot å bruke dyrka jord og dyrkbar jord til annet enn jordbruksproduksjon kan ramme bruksmåter av ulik karakter. Det kan dreie seg om for eksempel oppføring av bygg, planting av skog, anlegg av dammer, eller massedeponi av enhver art.»

På den annen side finnes krav om vegetasjon i soner mot vassdrag i Forskrift om nydyrking av 2. mai 1997 nr. 423. I § 6 står at «Ved nydyrking skal det settes igjen en vegetasjonssone mot vassdrag. Langs vassdrag med årssikker vannføring skal sonen være minst 6 meter målt ved normal vannføring. Langs vassdrag uten årssikker vannføring skal sonen være minst 2 meter. Som vassdrag regnes stillestående eller rennende overflatevann med årssikker vannføring og vannløp uten årssikker vannføring dersom det adskiller seg tydelig fra omgivelsene.»

Forskrift om nydyrking krever med andre ord at naturlig vegetasjon langs vassdrag må beholdes der det i dag *ikke* er dyrka mark, men i områder hvor mark allerede er dyrka krever Jordlova at arealet fortsatt skal brukes til jordbruksproduksjon, med unntak av omdisponering der vannressursloven har gitt tillatelse til konsesjonspliktige tiltak (i hht Rundskriv M-1/2013).

4.3.2 Produksjonstilskudd forutsatt miljøvennlig drift

Det gis tilskudd til miljøvennlig drift, og disse er hjemlet i følgende forskrifter under Jordlova:

- Forskrift om produksjonstilskudd og avløsertilskudd i jordbruket (PT-forskriften) av 19. desember 2014, nr. 1817 (kommunen)
- Forskrift om tilskudd til regionale miljøtiltak i jordbruket (RMP) (kommunen)
- Forskrift om tilskudd til spesielle miljøtiltak i jordbruket (SMIL) av 04. februar 2004 nr. 448. (kommunen)
- Forskrift om gjødslingsplanlegging av 01. juli 1999 nr. 791 (kommunen)

Det er viktig å merke seg at det her er snakk om *produksjonstilskudd*, som betyr at det *ikke* kan gis tilskudd til å la jord ligge brakk eller å la naturlig vegetasjon overta produktiv mark. Under gis en kort oversikt over disse fire forskriftene:

Forskrift om produksjonstilskudd og avløsertilskudd i jordbruket (PT- forskriften) av 19. desember 2014, nr 1817

Formålet med tilskudd etter forskriften er å bidra til et aktivt og bærekraftig jordbruk innenfor de målsettinger Stortinget har trukket opp.

I henhold til § 4 i PT-forskriften kan det gis areal- og kulturlandskapstilskudd for fulldyrket og overflatedyrket jord. Det kan ikke gis tilskudd hvis det ikke er etablert buffersoner mot vassdrag med årssikker vannføring. Sonen skal være tilstrekkelig bred til å motvirke avrenning til åpent vann under normal vannføring. Sonen må være på minst 2 meter målt fra vassdragets normalvannstand, og kan ikke jordarbeides.

PT-forskriften definerer dermed vegetasjonssoner som to meter målt fra vassdragets normaltstand. Hvis det med normalvannstand henvises til midlere vannføring, vil målingen av buffersonen i mange elver og bekker starte et stykke ned i elveløpet, og i noen tilfelle kan hele sonen ligge i selve elveløpet (hvis elveløpet defineres som såkalt bank-full vannhøyde, se illustrasjon i figur 17. Disse sonene kan ikke jordbearbeides, men det er ikke til hinder for at de kan gjødsles eller høstes.



Figur 17. Illustrasjon av ulike hydrologiske begreper om vannstand i ei elv, relatert til «normalvannstand» benyttet i PT-forskriften.

Forskrift om tilskudd til regionale miljøtiltak i jordbruket (RMP)

RMP ble innført i 2005, og tilskuddene er ment å stimulere til en økt miljøinnsats i jordbruket ut over det som er mulig gjennom nasjonale ordninger. RMP-forskrifter lages for hvert fylke. Hvert fylke har et eget miljøprogram som dekker en lang rekke miljøtemaer. Miljøtiltakene er delt inn i sju miljøtema; Kulturlandskap, Biologisk mangfold, Kulturmiljøer- og kulturminner, Friluftsliv og tilgjengelighet, Avrenning til vassdrag og kyst, Utslipp til luft og Plantevernmidler. Jordbruket har behov for økte tiltak for å oppfylle målene for vannmiljø, spesielt knyttet til utvalgte vassdrag. Gjennom en styrking av tiltak under regionale miljøprogram, legges det til rette for målrettet innsats for å redusere erosjon og avrenning, og derigjennom bedre vannkvaliteten.

Formålet med forskriften er bl.a. å bidra til at jordbruket i hvert fylke drives miljøforsvarlig og ivaretar kulturlandskapet. Et grunnvilkår er at tilskudd til miljøtiltak etter denne forskriften kan bare gis til foretak som er berettiget produksjonstilskudd, jf. PT-forskriften (beskrevet i forrige avsnitt) og/eller, som oppfyller kravene til gjødslingsplan i forskrift 1. juli 1999 nr. 791 om gjødslingsplanlegging § 3. Tilskudd til buffersoner mot vassdrag kan søkes av RMP-midler.

Videre finnes det eksempler på nye, regionale krav i RMP-forskrifter. Et eksempel er Forskrift om regionale miljøkrav i vannområdene Glomma sør for Øyeren, Haldenvassdraget og Morsa, Østfold (FOR-2015-06-19-836). Formålet er å bidra til å redusere erosjon fra jordbruket i områder som har avrenning til sårbare vassdrag. Miljøkravene omfatter bl.a. at det skal være buffersoner langs alle vassdrag som mottar avrenning fra jordbruksareal.

Tilskuddsordningen revideres med jevne mellomrom og tabell 7 viser en grov oversikt over gjeldende ordning i 2013-16.

Det har forekommet ulike misforståelser med hensyn til drift og skjøtsel av buffersoner. Årsaker til dette kan være begrepsforvirring og at det stilles ulike krav til utforming og skjøtsel av sonene. Betegnelser på tiltak er blant annet; «buffersoner», «grasdekte vannveier», «andre grasdekte arealer», «andre grasdekte arealer (flomutsatt)», «stubb (flomutsatt)», «ugjødsle randsoner», «ugjødsle randsoner i eng», «grasdekt vegetasjonssone» og «vegetasjonssone mot vassdrag». Krav til bredden på sonen varierer fra 5-15 m i de ulike fylkene. Generelt er det ikke lov å gjødsle i sonene, men det finnes unntak hvor det er lov å gjødsle med nitrogen eller det er lov til å gjødsle med en viss prosent av normal gjødselmengde. For alle fylker og alle type tiltak er det oppgitt det at det ikke er lov til å sprøyte, med unntak av ved fornying (i noen fylker). Hvor ofte de ulike tiltakene skal fornyes varierer fra «minimum 3 år» til «minimum 5 år», eller «mer enn 5 år». Det har vært krav om høsting enkelte steder, men nylig er det gitt tillatelse til at graset slås, men ikke høstes. I noen områder er beiting i sonene tillatt, andre steder er det ikke noen bestemmelser om dette.

Tabell 7. En grov oversikt over satser og premisser for tilskudd til ulike bufferzoner i regionale miljøtiltak i jordbruket (RMP), 2013-16. Info hentet fra FM sine nettsider 2016.

| Fylke | Tiltak / Tilskudd | Bredde | Gjødsling | Sprøyting | Høsting | Beiting | Jordarb. | Sats |
|------------------|---|----------|--------------|------------------------------|----------------------|---------|---|--|
| Østfold | Vegetasjonssone | > 6m | Ikke P | nei | Ja | | Min 5 års varighet | 10 kr/lm ¹ 4 kr/lm ² |
| | Grasdekt vannvei | > 6m | | - | ? | | Min 5 års varighet | 10 kr/lm ¹ 6 kr/lm ² |
| | Andre grasdekte arealer (flomutsatt) | varierer | ja | - | ja | | Min. 3-årig | 250 kr/daa ¹ 150 kr/daa ² |
| | Stubb (flomutsatt) | varierer | | | Ikke høst | | | 140 kr/daa |
| Vestfold | Vegetasjonssone | > 5m | | Ved fornying | Ja | Ja | Ved fornying | Korn: kr5/lm ¹ Potet/Gr.saker:10kr/lm ¹ |
| | Grasdekt vannvei | > 5m | | Ved fornying | | | Ved fornying | Korn:kr10/lm ¹ Potet/Gr.saker:15kr/lm ¹ |
| Buskerud | Vegetasjonssone ¹ | 5-10m | Nei | Nei | Ja | Ja | | 12 kr/m (2014) Arealet må oppgis |
| | Grasdekt vannvei | 8-15m | | Ikke høst | Ja | | Ikke høst | 15 kr/m (2014) |
| | Stubb i flomutsatte arealer ^{3,4} | | | | | | Ikke høst | 350 kr/daa (under MG) 250 kr/daa (over MG) |
| Oslo og Akershus | Grasdekt vannvei | >6m | <70% av norm | | Ja | | Ved fornying, ikke høst | 20 kr/m ¹ 15 kr/m ² |
| | Vegetasjonssone og ugjødsle randsoner | >6m | Betinget ja | Bare ved fornying, ikke høst | Slås og/eller høstes | Ja | Ved fornying og om nødvendig. > 5te år, ikke høst | 10 kr/m ¹ 8 kr/m ² |
| | Andre grasdekte arealer | | <70% av norm | | | | Fornyng min hvert 3. år. Ikke høst. | |
| | Stubb og blomutsatte og vassdragsnære områder | | | | | | | |
| Rogaland | Ugjødsle randsoner i eng | 5m | nei | nei | slått | ja | Minst mulig. Kan fornyes - høst | 7 kr/lm ¹ |
| | Vegetasjonssone | 10m | nei | nei | | | Minst mulig, mest mulig permanent | Korn: 30kr/m Potet/gr.sak:30kr/m |

| Fylke | Tiltak / Tilskudd | Bredde | Gjødsling | Sprøyting | Høsting | Beiting | Jordarb. | Sats |
|----------------|---|--------|--------------------|-----------|---------|---------|---------------------------------------|---|
| Hedmark | Grasdekt vannvei | | | Ikke høst | | | | Korn: 15kr/m Potet/gr.sak:15kr/m |
| | Grasdekt vegetasjonssone | | nei | | ja | ja | | Korn: 15kr/m Potet/gr.sak:15kr/m |
| Oppland | Grasdekt vannvei | 8-15m | nei | | | | Ikke høst | Potet/gr.sak:31kr/m Korn (inkl oljevekster og eng 19 kr ¹ , 17 kr ²) |
| | Vegetasjonssone | 8-15m | Nei | | | | Ikke høst | Potet/gr.sak:31kr/m Korn (inkl oljevekster og eng 19 kr ¹ , 17 kr ²) |
| Telemark | Vegetasjonssone mot vassdrag | >5m | nei | nei | ja | ja | Ikke høst | Potet/grønnsaker: 25 kr/lm Korn: 15 lr/lm |
| Vest Agder | Vegetasjonssone | >5m | nei | nei | ja | | Ikke fornyes oftere enn hver 5. år | Potet, gr.saker og korn 30 kr/m |
| Aust Agder | Vegetasjonssone | >5m | nei | nei | ja | | Ikke fornyes oftere enn hver 5. år | 30 kr/m |
| Nord Trøndelag | Grasdekt vannvei i åpenåker og grasbelter mellom åker og vassdrag | >10m | Nei, kun anleggsår | | ja | ja | Kun ved fornying | |

Hordaland, Møre&Romsdal, Sogn&Fjordane, Nordland, Troms og Finnmark – ingen info om tilskuddsordninger for ulike buffersoner

¹ prioriterte områder, ² ikke prioriterte områder, ³ avmerket enten på NVE's flomsonekart, miljøplankart eller godkjent av kommunen, med gjentakintervall hyppigere enn tiårsflom, ⁴ gjelder kun for korn, oljevekster, ertre, frøeng siste høstear, grønnngjødsling og grønnfôrvekster sådd med liten radavstand, - = ikke oppgitt

Forskrift om tilskudd til spesielle miljøtiltak i jordbruket (SMIL) av 04. februar 2004 nr 448

Formålet med SMIL-ordningen er å «fremme natur- og kulturminneverdiene i jordbrukets kulturlandskap og redusere forurensningen fra jordbruket, utover det som kan forventes gjennom vanlig jordbruksdrift. Prosjektene og tiltakene skal prioriteres ut fra lokale målsettinger og strategier.» I henhold til §5 kan det innvilges tilskudd til gjennomføring av tiltak som bidrar til å hindre eller redusere forurensning eller risikoen for forurensning fra jordbruket. SMIL-midler kan brukes til utgifter i forbindelse med bufferzoner. Fra 2015 er SMIL-ordninga avgrensa til foretak som er berettiga produksjonstilskudd. Kommunene behandler og avgjør søknader om tilskudd. Kommunene utarbeider overordna retningslinjer for prioritering av søknadene.

Forskrift om gjødslingsplanlegging av 01. juli 1999 nr. 791

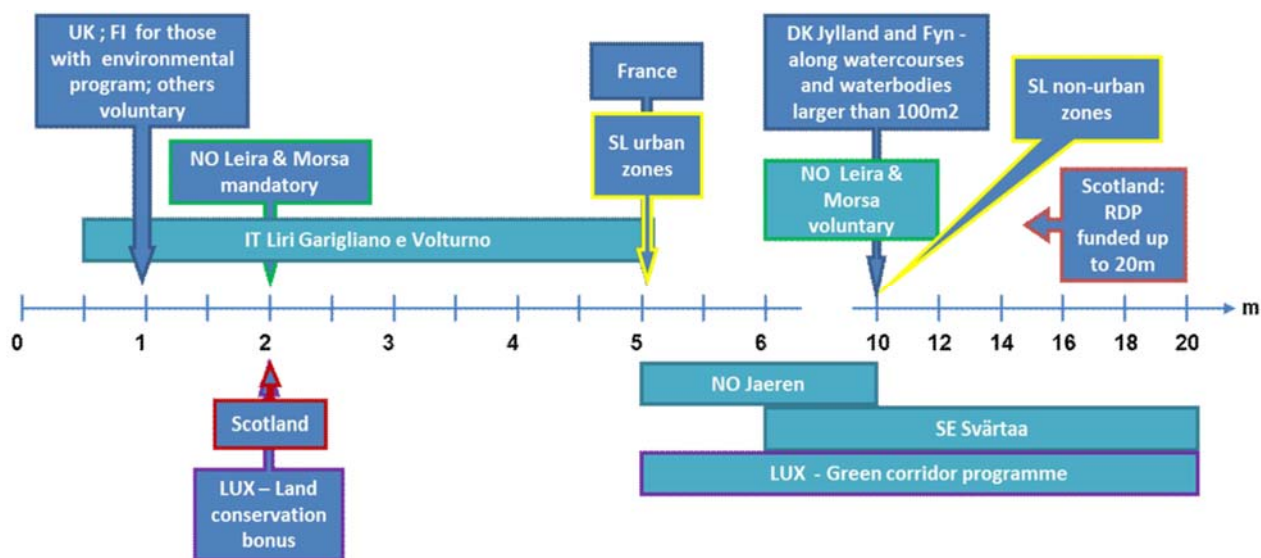
Formålet med denne forskriften er å «gi grunnlag for kvalitetsmessig god avling, begrense avrenning til vassdrag og tap til luft av næringsstoffer fra jordbruksarealer. (...)» Forskriften har ingen paragrafer som omtaler bufferzoner mot vassdrag.

4.3.3 Annet relevant lovverk

I Forskrift om berekraftig skogbruk, under Lov om skogbruk (Skogbrukslova), sier § 5 at «Ved hogst i kantsoner mot vatn og vassdrag og mellom skog og anna mark skal kantsona sin økologiske funksjon takast vare på». Det angis ikke noen bredde på gjenværende skog mot vann.

4.3.4 Bredden på bufferzoner i europeiske land

Somma m.fl. (2013) har i en litteratursammenstilling undersøkt krav om bredder til bufferzoner i europeiske land, og funnet at dette varierer mellom 0,6 – 20 meter. Figur 19 viser bredden på påbudte («mandatory») og frivillige («voluntary») bufferzoner. Norske eksempler i figuren er vassdrag som er underlagt egne bestemmelser i henhold til lokale forskrifter om bufferzoner (FOR-2015-06-19-836; jf. avsnittet om RMP under kapittel 4.3.2.). Danmark har senere trukket tilbake kravet om 10 m brede randzoner i 2015/2016.



Figur 19. Bredden på bufferzoner i europeiske land (Somma m. fl. 2013). Mørkeblå bokser med pil viser bestemmelser om faste bredder av bufferzoner, mens lyseblå bokser viser tilfeller hvor bufferzonens bredde angis som et intervall.

5 Bondens preferanser

Buffersoner mellom åker og vannforekomst er et viktig miljøltiltak i landbruket, og har vært gjennomført i mange år. Tiltaket støttes av ulike tilskuddsordninger som er beskrevet i kapittel 4, men vet vi nok om effekten av buffersonene? Virker de etter hensikten? Er naturlig vegetasjon og innslag av busker og trær i buffersonene bedre for vannmiljøet enn grasproduksjon? Kan trær langs med elve- og bekkekanter bidra til å bedre biomangfoldet og redusere flomskader?

For å få bedre innsikt i erfaringer med regelverk og praktisk gjennomføring av tiltaket buffersoner, har vi høstet erfaringer fra bønder landbruksrådgivning og forvaltning gjennom telefonintervju, presentasjoner/foredrag og deltakelse på markvandringene. På markvandringene ble det informert om prosjektet, samt utdelt info-ark som grunnlag for samtaler/diskusjoner med gårdbrukere, landbruksrådgivning, private aktører og forvaltning (figur 20). Figur 21 viser bilder fra markvandringene.



Figur 20. Faktaark med informasjon om buffersoner utdelt på markvandringene.



Markvandring på Aremark



Inngjerdet buffersone som beites av sau. Aremark



Info om buffersoner, gjennomgang av spørreskjema, diskusjon og matpause. Aremark



Informasjon og markvandring i Marker



Grasdekt vannvei i Marker



Grasdekt buffersone mot innsjø i Marker



Naturlig kantvegetasjon rundt en fangdam i Svinndal



Markvandring i Svinndal. Grasdekt buffersone.



Steinsetting og bruk av kokosmatter som tiltak mot kanterosjon. Svinndal



Utprøving av grantrær som tiltak mot kanterosjon. Svinndal



Forbygging med stokker, steinsetting og kokosmatter som tiltak mot kanterosjon. Svinndal



Markvandring i Svinndal

Figur 21. Bilder fra markvandringene (Foto: A-G. B. Blankenberg).

5.1 Erfaringer med tiltak og tilskuddsordninger - spørreundersøkelse

Tabell 8 er en sammenstilling av tilbakemeldinger fra spørreundersøkelsen, enten skriftlig besvarelse eller muntlige tilbakemeldinger.

Tabell 8. Sammenstilling av tilbakemeldinger fra bønder landbruksrådgivning og forvaltning.

| Spørsmål | Kommentar |
|--|---|
| 1. Hvilke typer tiltak har du? | |
| a. Grasdekt buffersone langs vassdrag | Det er gitt tilbakemelding fra brukere som har anlagt grasdekte buffersoner i fra 2002 frem til 2016, og noen av sonene er også fornyet i dette tidsrommet. Bredde på sonene er oppgitt til å være 6, 10 og 12 m. |
| b. Ugjødsla randsone i eng og beitemark | Kun noen få har oppgitt at de har ugjødsla randsoner. Sonene er anlagt i 2004 og 2006, og bredden på disse er 10 og 12 m. |
| c. Grasdekt vannvei inne på jordet | Tiltak oppgitt, men ikke angitt bredde og drift. |
| d. Annet (beskriv) | Oppgitt anlagt tiltak 2008, men ikke beskrevet type tiltak. |
| 2. Gjødsles graset? | De fleste oppgir at graset ikke gjødsles, men det blir også oppgitt at noe gjødsles med husdyrgjødsel en gang i året. |
| 3. Sprøytes graset? | Ingen sprøyter graset |
| 4. Høstes graset? | Det oppgis at graset høstes 1, 2 og opptil 3 ganger per sesong. Avlingsmengde oppgis å være ca. 30 %, 60 %, 75 % og vet ikke. Graset blir oppgitt brukt til Ku, dyrefor, noe brukes til for, kjøttedyr, for. Kvaliteten på foret blir stort sett meldt tilbake at er ok, men det meldes også om middels og dårlig kvalitet. Dårlig kvalitet har sammenheng med flomområder og mye partikler i graset. |
| 5. Har du/dere utstyr, og høster selv? | De færreste oppgir å ha utstyr selv, men de som har, oppgir å ha slåmaskin, rive og beitepusser. Naboer eller kjøper av for ordner med innhøsting. |
| 7. Benyttes du/dere graset selv? | De færreste bruker graset selv. De fleste selger eller gir bort graset til nabo. Det oppgis også at noe blir dumpet i skogen |
| 8. Beites grassonen(e) | Forekommer, men ikke vanlig. |
| 9. Brukes beitepusser i grassonen(e) | Forekommer, men sjelden. |
| 10. Hvor ofte jordarbeides/reetableres sonen? | Følgende svar er oppgitt: ikke gjort enda, 3-4 år, 5 år, 6-8 år, 8-10 år. Når var sist (årstall): 2006, 2004, 2011, 2016, 2015 |
| 11. Hvilken type gras-/frøblanding brukes? | Frøblanding nr 13, frøblanding nr 13 med ekstra kjøver, vinterherdig blanding, surfor 10 normal |

| | |
|---|---|
| 12. Medfører buffersoner en økonomisk gevinst? | De fleste oppgir at inntekten er omtrent den samme. Et fåtall oppgir at det er et økonomisk tap. Kun gevinst i form av god samvittighet |
| 13. Brukes buffersonen som transportvei? | (f.eks ved jordarbeiding, gjødsling/kalking, innkjøring av korn/gras mm)? |
| a. Nei | De fleste gir tilbakemelding på at buffersonene ikke brukes som kjørevei. |
| b. Ja, (vennligst beskriv) | Noen oppgir at buffersonene eller deler av sonene brukes som kjørevei ved f.eks. innkjøring av korn/gras. |
| 14. På hvilke dyrkningsformer er det buffersoner? | (flere svar er mulige) |
| a. Korn og oljevekster | Alle som har grasdekte buffersoner har dette på arealer med korn eller oljevekster. |
| b. Grønnsaker/Poteter | Ingen tilbakemelding fra noen som har grasdekte buffersoner i forbindelse med grønnsaker og poteter |
| c. Grasproduksjon | Et fåtall gir tilbakemelding på at de har ugjødsla randsoner på grasarealer og disse har i tillegg grasdekte buffersoner på kornarealer. |
| d. Beite | |
| e. Annet (beskriv) | |
| 15. På hvilke erosjonsklasser er det buffersoner? (sett ett eller flere kryss) | <ol style="list-style-type: none"> 1. Gjelder de fleste, ofte helt inntil bekk 2. Noen få 3. Ingen tilbakemelding 4. Kun en tilbakemelding på svært erosjonsutsatt |
| 16. Er spredning av ugras fra buffersonen et problem? | |
| a. Nei | De fleste oppgir at dette ikke er noe problem |
| b. Ja (vennligst beskriv) | Der det oppgis som problem, oppgis kvekeå være problemet |
| 17. Din skjønnsmessige vurdering av tiltakene | |
| a. Har buffersonen effekt mot tap av jord og næringsstoffer /sprøytemidler? | <p>Nei: Noen tviler på at det har effekt, og oppgir at det kan være «både/og».</p> <p>Ja: De fleste oppgir at de har tro på at tiltaket har en effekt.</p> |
| b. Ønsker du en annen bredde enn dagens bredde? (Oppgi årsak) | Mange synes det er passe bredde i dag, men de som har kommentert endring vil gjerne ha bredere soner grunnet at maskinbredden tilsier at dette hadde vært lettere mhp slått og pressing. I denne rubrikken ble det også kommentert at det var ønske om å slippe å slå buffersonen. Det ble også oppgitt misnøye rundt Debio-ordning, og at buffersonene av den grunn blir avsluttet og pløyd. |

| | |
|--|---|
| c. Oppfatter du buffersoner som et estetisk landskapselement? | Det er enighet om at buffersoner er et estetisk landskapselement. |
| d. Har du inntrykk av at buffersonene har positiv effekt med hensyn på å redusere kanterosjon? | Det er enighet om at buffersoner reduserer kanterosjon, og oppgitte årsaker er at jorda bindes på plass av grasrøtter, at det er mindre trafikk helt nede på kantsonen, særlig vår og høst eller at en slipper å jordarbeide langs bekken og at en slipper avrenning ved flom. |
| e. Ville smalere kantsoner med busker og trær vært et bedre alternativ en grasdekte buffersoner? | De aller fleste er imot smalere kantsoner med busker og trær, og oppgitte årsaker til dette er blant annet: det medfører mer stell og vedlikehold av buffersoner, røtter ødelegger dreneringssystemet, ønsker ikke spredning av ugress og kratt inn på jordet, det kaster skygge inn på jordet. Det kommenteres også at man frykter at areal blir tatt ut av kartet som dyrka mark. Noen svært få kommenterer at denne type soner kan ha positiv effekt mot kanterosjon. |
| f. Vil du tro at det er bedre infiltrasjon i buffersonene enn på resten av produksjonsarealet? | De aller fleste tror at infiltrasjonskapasiteten er bedre grunnet at det arealene er utsatt for mindre kjøring, sonene har planterøtter hele året og det er dermed en lettere jord. Noen er ikke sikker på om det er bedre infiltrasjon, og noen oppgir at det ikke ser ut til å være bedre infiltrasjon. |

6 Sammendrag og konklusjoner

6.1 Oppsummering buffersoner

Det er gjennomført et omfattende litteraturstudium som omfatter renseeffekter i buffersoner, og prosesser og faktorer som påvirker disse, samt kanterosjon langs elver og bekker og kantsoners mulige bidrag til flomdemping. I tillegg er biomangfold i kantsoner belyst.

Det er store variasjoner i renseeffekter i buffersoner: Partikler (32-91 %), fosfor (26-100 %) og nitrogen (0-100 %). Årsaken til at buffersoners evne til å holde tilbake jord, næringsstoffer og andre forurensningskomponenter er at de avhenger en rekke komplekse renseprosesser, hvorav oppbremsing av overflatevann og sedimentasjon er av de viktigste. Disse renseprosessene påvirkes igjen av en rekke forhold, hvor blant annet tilførsel av jord og næringsstoffer fra nedbørfeltet, samt helling og bredde på buffersoner er av de viktigste. I tillegg påvirkes dette av vær og klima.

Vekster i buffersonen har betydning for både matproduksjon, renseeffekt og overflateerosjon, kanterosjon, flomfordrøyning og biomangfold. Tabell 9 gir et kort sammendrag av buffersoner med gras, og trær sin effekt på disse forholdene.

Tabell 9. Matrise med et kort sammendrag av ulike buffersoners effekt på matproduksjon, renseeffekt, erosjon, flomfordrøyning og biomangfold.

| Buffersone | Matproduksjon | Renseeffekt | Kanterosjon | Flomfordrøyning | Biomangfold |
|-------------|---|--|--|--|--|
| Gras | Utnytter arealet til matproduksjon (grovfôr). | Reduserer løsrivelse av partikler. Øker infiltrasjon. Bremser overflatevann, sedimenterer partikler, binder og tar opp næringsstoffer og andre forurensinger. Kan tidvis medføre lekkasje av løst fosfor. | Antatt liten effekt; røttene for grunne til effektiv beskyttelse av kantene. Dog kan elva grave seg dypere i grasdekte områder, slik at erosjon blir mindre. | Antatt liten effekt på flomtopper. | Ensartet biotop med noe ensartet plante-/dyresamfunn, dog kan enkelte grasarter tiltrekke seg pollinatorer. |
| Trær | Kan ikke benyttes som mat med mindre det plantes frukttrær. | Holder tilbake regnvann, men regnvannet kan også samles i større, mer eroderende dråper. Rotsystem gir økt infiltrasjon og næringsopptak dypere ned i jordprofilet og i større deler av året enn kun gras, men kan grave ganger som frakter næring raskere ut i elva/bekken. For tett bestand kan gi skygge og begrensa markdekke. | Store røtter armerer kantene. Små røtter motstår skjærstresset av ellevannet. Røtter trekker opp vann og reduserer porevannstrykket. Også noe negativ effekt (tre-velt og tyngden av trærne), men de positive antas å oppveie de negative. | Noe effekt i mindre nedbørfelt, pga. opptak av vann (røttene) og redusert flomhastighet (trestammene), men lenger nedover i nedbørfeltet antas effekten å være mindre. | Svært gunstig for biomangfold, både terrestrisk og akvatisk, ikke minst når døde trær får lov å stå igjen. God effekt på pollinatorer. |

| Buffersone | Matproduksjon | Renseeffekt | Kanterosjon | Flomfordrøyning | Biomangfold |
|--|--|---|--|---|---|
| Gras med enkelte busker og trær | Kan ikke benyttes som mat med mindre det er snakk om frukttrær og bærbusker. | Godt markdekke bremses vann/partikler, beskytter jordoverflaten og reduserer overflateerosjon. Røtter gir god infiltrasjon og opptak av vann og næringsstoffer grunt (gras) og dypere (trær). | Gitt at trær er godt representert i sonen, og at buskene har god rottetthet, kan sonen redusere kanterosjon. | Antas å ikke ha stor effekt, siden trær antakelig må utgjøre et relativt stort areal for å ha innvirkning på flom. | Kan gi et godt biomangfold. |
| Åker | Utnytter arealet til matproduksjon. | Ingen, annet enn ved gode agronomiske tiltak, som åker i stubb, lite jordpakking og tilpasset gjødsling. | Beskytter ikke mot kanterosjon. | Reduserer ikke flomtopp. | Lavt biomangfold i monokulturer. |
| Mekanisk forbygging | Beskytter åkeren innenfor mot flomskader. | Ingen kjent renseeffekt. | God sikring mot erosjon i kantene. Kan anbefales ved fare for leirskred og kraftig erosjon. | Kan beskytte nærliggende områder mot flomskader, men kan potensielt forsterke flomfaren nedstrøms ved å redusere fordrøyning av vannet. | Kan virke som biotopforsterkende tiltak ved at steiner i elva gir habitat for bunndyr, fisk, o.l. Avhenger imidlertid sterkt av utforming, og kan også føre til kraftig forringning av biomangfoldet. |

6.2 Lovverk og forskrifter

Tabell 10 gir en oppsummerende oversikt over gjeldende lover og forskrifter som innbefatter buffersoner, samt om lovverket angir bredden på sonene.

Tabell 10. Buffersoner i lovverket.

| Lov / Forskrift | Omtale av buffersoner i lov/forskrift | Breddeangivelse |
|-----------------------------------|---|---|
| Vannressursloven | Langs bredden av vassdrag med årssikker vannføring skal det opprettholdes et begrenset naturlig vegetasjonsbelte som motvirker avrenning og gir levested for planter og dyr. | Nei |
| Vannforskriften | I tiltaksprogrammene (§25) kan buffersoner inngå, men buffersoner er ikke særskilt nevnt i forskriften. | Nei |
| Forskrift om berekraftig skogbruk | Ved hogst i kantsoner mot vatn og vassdrag og mellom skog og anna mark skal kantsona sin økologiske funksjon takast vare på. | Nei |
| Plan og bygningsloven | § 1-8 I 100-metersbeltet langs sjøen og langs vassdrag skal det tas særlig hensyn til natur- og kulturmiljø, friluftsliv, landskap og andre allmenne interesser. §11-8: Hensynssoner. Punkt 3; Grønnstruktur (naturområder, turdrag, friområder og parker) og punkt 6; Bruk og vern av sjø og vassdrag, med tilhørende strandsoner (ferdsel, farleder, fiske, akvakultur, drikkevann, natur- og friluftsområder hver for seg eller i kombinasjon). | 100 meter |
| Jordlova | Buffersoner er ikke særskilt nevnt i loven, men § 9 stadfester at dyrket mark ikke skal brukes til andre formål enn matproduksjon. I 2013 kom imidlertid Rundskriv M-1/2013, som klargjør at «Forbudet i § 9 gjeld ikkje omdisponering der vassdragsmyndigheita har gitt løyve til vassdragstiltak, jf. vannressurslova § 8.» | Nei |
| Forskrift om nydyrking | § 6.: «Ved nydyrking skal det settes igjen en vegetasjonssone mot vassdrag. Langs vassdrag med årssikker vannføring skal sonen være minst 6 meter målt ved normal vannføring. Langs vassdrag uten årssikker vannføring skal sonen være minst 2 meter. Som vassdrag regnes stillestående eller rennende overflatevann med årssikker vannføring og vannløp uten årssikker vannføring dersom det adskiller seg tydelig fra omgivelsene.» | 6 meter i vassdrag med årssikker vannføring 2 meter ved vassdrag uten årssikker vannføring |

| | | |
|--------------------------|--|---|
| PT-forskriften | <p>§ 4: Det kan gis areal- og kulturlandskapstilskudd for fulldyrket og overflatedyrket jord. Det kan ikke gis tilskudd hvis det ikke er etablert vegetasjonssoner mot vassdrag med årssikker vannføring. Vegetasjonssonen skal være tilstrekkelig bred til å motvirke avrenning til åpent vann under normal vannføring. Sonen må være på minst 2 meter målt fra vassdragets normalvannstand, og kan ikke jordarbeides.</p> | Minst 2 meter målt fra vassdragets normalvannstand. |
| RMP | <p>Innført i 2005. Hvert fylke har egne miljøprogram som blant annet dekker tilrettelegging av målrettet innsats for å redusere erosjon og avrenning, og derigjennom bedre vannkvaliteten (eks. buffersoner).</p> <p>Generelt er det ikke lov å gjødsle i sonene, men det finnes unntak. Hvor ofte de ulike tiltakene skal fornyes varierer fra «minimum 3 år» til «minimum 5 år», eller «mer enn 5 år». Med hensyn til høsting har det vært krav om høsting og enkelte steder godkjent beiting. I dag er det også noen steder tillatt at graset slås, men ikke høstes. Når det gjelder satsene for de ulike tiltakene er disse også oppe til årlig? revisjon. Tabell 6 gir en grov oversikt over informasjon funnet i nettsidene til de ulike fylkene i 2016.</p> | Krav til bredde på buffersonene varierer: 5-15 m. |
| SMIL | Ikke særskilt omtalt | Nei |
| Gjødsel forskrift | Ikke særskilt omtalt | Nei |

6.3 Bondens preferanser

Tabell 11 gir en oppsummerende oversikt over bondens preferanser til blant annet drift, grasutnyttelse, økonomi og erfaringer med ulike typer buffersoner. Undersøkelsen er basert på svar fra bønder fra lavlandet, fortrinnsvis i Østfold. Bønder i andre områder, både på Østlandet og andre steder i landet, kan ha andre oppfatninger.

Tabell 11. Brukernes preferanser.

| Tema | Kommentar |
|--|--|
| Typer tiltak | Flere grasdekte buffersoner langs vassdrag (på korn og oljevekster), noen få ugjødsle randsoner i gras og noen grasdekte vannveier i korn |
| Gjødsling | Vanligst å ikke gjødsle, men gjødsling med husdyrgjødsel forekommer. |
| Sprøyting | Ingen sprøyter buffersoner |
| Høsting/bruk av gras | Gras høstes fra 1-3 ganger av eier/nabo/kjøper av for/avtale med annen, og avling er ca 30-75 %. Graset brukt til dyrefor av eier eller nabo. Kvalitet stort sett ok, men middels til dårlig, særlig fra flomutsatte områder. Dumping i skog forekommer |
| Beiting | Forekommer, men sjelden |
| Beitepusser | Forekommer, men sjelden. |
| Jordarbeiding / reetablering | Varies fra hvert 3-10 år |
| Gras-/frøblanding | Frøblanding nr 13, frøblanding nr 13 med ekstra kløver, vinterherdig blanding, surfôr 10 normal |
| Økonomi av buffersonen | De fleste får samme inntekten, et fåtall har økonomisk tap |
| Buffersonen som transportvei.. | Stort sett ikke. Forekommer ved innkjøring av korn/gras |
| Tiltak i erosjonsklasse: | 1. De fleste har en form for vegetert buffersoner; 2. Noen få har en form for vegetert buffersoner; 3. Ingen tilbakemelding; 4. en har oppgitt at det er vegetert buffersoner på arealene. |
| Problem med ugras fra buffersonen | Stort sett ikke problem så lenge det kombineres korn/gras, men kveke forekommer |
| Vurdering av buffersoner | Hovedsakelig tro på at tiltaket har effekt, men det forekommer tvil. Tiltak må tilpasses bredden på maskinpark. Flertall fornøyd med dagens bredde, noen vil ha bredere Forekommer ønske om å slippe å slå buffersoner Buffersoner oppfattes som et estetisk landskapselement. Bred enighet om at buffersoner reduserer kanterosjon, og oppgitte årsaker er at jorda bindes på plass av grasrøtter og at det er mindre trafikk helt nede på kantsonen, |

særlig vår og høst, eller at en slipper å jordarbeide langs bekken og at en slipper avrenning ved flom.

De aller fleste ønsker IKKE smalere kantsoner med busker og trær, og oppgitte årsaker til dette er blant annet: medfører mer stell og vedlikehold av bufferoner, røtter ødelegger dreneringssystemet, ønsker ikke spredning av ugress og kratt inn på jordet, det kaster skygge inn på jordet. Det er også frykt for at areal blir tatt ut av kartet som dyrka mark.

Noen mener smalere kantsoner med busker og trær vil ha positiv effekt mot kanterosjon.

De aller fleste tror at infiltrasjonskapasiteten er bedre i bufferoner grunnet at buffersonene har plantedekke/røtter hele året, og at det er mindre kjøring i sonene.

Litteraturreferanser

- Abernethy, B & Rutherford, I.D. 2000. The effect of riparian tree roots on the mass-stability of riverbanks. *Earth Surface Processes and Landforms*, 25: 921– 937.
- Abernethy, B & Rutherford, I.D. 1998. Where along a river's length will vegetation most effectively stabilise stream banks? 1998. *Geomorphology* 23, 55–75.
- Andreassian V. 2004. Waters and forest: from historical controversy to scientific debate. *Journal of Hydrology*. 291:1-27.
- Aguiar, T.R., Rasera, K., Parron, L.M., Brito, A.G., Ferreira, M.T. 2015. Nutrient removal effectiveness by riparian buffer zones in ruraltemperate watersheds: The impact of no-till crops practices. *Agricultural Water Management* 149: 74–80.
- Allaire SE, Sylvain C, Lange SF, Thériault G, Lafrance P. 2015. Potential Efficiency of Riparian Vegetated Buffer Strips in Intercepting Soluble Compounds in the Presence of Subsurface Preferential Flows. *PLoS ONE* 10(7): e0131840. doi:10.1371/journal.pone.0131840.
- Bang, H. P. H. 2015. Landbrukslovene. Foredrag ved seminar; «Kantsoner langs vassdrag», Lillestrøm, 3.12.2015.
- Bartley, R., Keen, R. J., Hawdon, A. A., Disher, M. G., Kinsey-Henderson, A. E. & Hairsine, P. B. 2006. Measuring rates of bank erosion and channel change in northern Australia: a case study from the Daintree River Catchment. *CSIRO Land and Water Science Report* 43/06: 51 s.
- Bechmann, M.E., Kleinman, P.J.A., Sharpley, A.N., Saporito, L.S. 2005. Freeze-Thaw Effects on Phosphorus Loss in Runoff from Manured and Catch-Cropped Soils. *J. Environ. Qual.* 34:2301-2309
- Bedard-Haughn, A., Tate, K. W. og van Kessel, C. 2005. Quantifying the Impact of Regular Cutting on Vegetative Buffer Efficacy for Nitrogen-15 Sequestration. *Journal of Environmental Quality* 34(5):1651-64.
- Beeson, C.E. and Doyle, P. F. 1995. Comparison of Bank Erosion at Vegetated and Non-Vegetated Channel Bends. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 31:983–990. doi: 10.1111/j.1752-1688.1995.tb03414.x
- Bharati, L., K.H. Lee, T.M. Isenhardt, and R.C. Schultz. 2002. Soil-water infiltration under crops, pasture, and established riparian buffer in midwestern USA. *Agrofor. Syst.* 56:249–257.
- Blanco-Canqui, H., Gantzer, C.J., Anderson, S.H. 2006. Performance of Grass Barriers and Filter Strips under Interrill and Concentrated Flow. *J. Environ. Qual.* 35:1969–1974.
- Blankenberg, A-G. B. og Sørbotten, E. (2017). Fosforstatus på åker og i grasdekt buffersone. Nibo-rapport in prep
- Blankenberg, A-G. B. 2014. Effekt av randsoner langs vassdrag i jordbruksområder på Jæren – delprosjekt 2. *Bioforsk rapport Vol. 9, Nr. 90, 2014.* 43s.
- Blankenberg, A-G. B. og Grønsten, H.A. 2014. Vegetasjonsdekke som tiltak tiltak mot tap av jord og fosfor.
- Blankenberg, A-G.B, Paruch, A.M., Tryland, I. og Robertson, L. 2012. Vil klimaendringer kunne få konsekvenser på avrenning av tarmbakterier og parasitter fra beiteområder? *Bioforsk FOKUS Vol. 7 Nr. 2. 2012.* s 253-255.

- Blankenberg, A-G. B. 2011. Effekter av vegetasjonssoner. Bioforsk FOKUS 6 (2). 21:144.
- Bloom, A.L. 1998. An Assessment of Road Removal and Erosion Control Treatment Effectiveness: A Comparison of 1997 Storm Erosion Response between Treated and Untreated Roads in Redwood Creek Basin, Northwestern California. MSc. Thesis, Humboldt State University.
- Bogen, J. & Sandersen, F. 1991. Sedimentkilder, erosjonsprosesser og sedimenttransport i Leira-vassdraget på Romerike. NVE Publikasjon nr. 20 1991, 125 s.
- Borgvang, S-A. and Tjomsland, T. 2001. Nutrient supply to the Norwegian coastal areas (1999) calculated by the model TEOTIL. NIVA-report 4343-2001. Statlig program for forurensningsovervåkning 815/01 TA-1783/2001. p. 40.
- Brady, N.C., and R.R. Weil. 2008. The nature and properties of soils. Pearson Education, Cranbury, NJ.
- Broersma, K., J.H. Robertson, and O.S. Chanasyk. 1995. Effects of different cropping systems on soil water properties of a Boralf soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 26:1795–1811.
- Bull, L.J. 1997. Magnitude and variation in the contribution of bank erosion to the suspended sediment load of the River Severn, UK. *Earth Surface Proc. and Landforms.* 12: 1109-1123.
- Burylo M., Hudek C. and Rey F. 2011. Soil reinforcement by the roots of six dominant species on eroded mountainous marly slopes (Southern Alps, France). *Catena*, 84: 70–78.
- Caitcheon, G.G., Olley, J. M., Pantus, F., Hancock, G. & Leslie, C. 2012. The dominant erosion processes supplying fine sediment to three major rivers in tropical Australia, the Daly (NT), Mitchell (Qld) and Flinders (Qld) Rivers. *Geomorphology* 151–152: 188–195.
- Caron, E., Lafrance, P., Auclair, J.-C. 2010. Impact of Grass and Grass with Poplar Buffer Strips on Atrazine and Metolachlor Losses in Surface Runoff and Subsurface Infiltration from Agricultural Plots. *J. Environ. Qual.* 39:617–629.
- Castelle, A. J., Johnsen, A. W., Conolly, C., 1994. Wetland and stream buffer size requirements – A review. *J. Environ. Qual.* 23:878–882.
- Cole, L.J., Brocklehurst, S., Robertson, D., Harrison, W., McCracken, D.I. 2015. Riparian buffer strips: Their role in the conservation of insect pollinators in intensive grassland systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 211: 207–220.
- Collison A.J.C. and Anderson M.G. 1996. Using a combined slope hydrology and stability model to identify suitable conditions for landslide prevention by vegetation cover in the humid tropics. *Earth Surface Processes and Landforms*, 21, 737-747.
- Correll, D.L. 2001. Vegetated Stream Riparian Zones: Their Effects on Stream Nutrients, Sediments and Toxic Substances. An Annotated and Indexed Bibliography of the world literature including buffer strips, and interactions with hyporheic zones and floodplains.
- Correll, D.L. 1997. Buffer zones and water quality protection: general principles. In: Haycock, N.E., Burt, T.P., Goulding, K.W.T., Pinay, G. (Eds.), *Buffer Zones: Their Processes and Potential in Water Protection. The Proceedings of the International Conference on Buffer Zones*, Quest Environmental, Harpenden, Herfordshire, UK, September 1996, pp. 7–20
- Costard, F., Dupeyrat, L., Gautier, E., & Carey-Gailhardis, E. 2003. Fluvial thermal erosion investigations along a rapidly eroding river bank: application to the Lena River (central Siberia). *Earth Surface Processes and Landforms*, 28(12), 1349-1359.
- Crooks, S. and Davies, H. 2001. Assessment of Land Use Change in the Thames Catchment and its effect on the Flood regime of the River. *Phys. Chem. Earth (B)*. Vol. 26, No. 7-8: 583-591.

- Darch, T., Carswell, A., Blackwell, M. S. A., Hawkins, J. M. B., Haygarth, P. M., Chadwick, D. 2015. Dissolved Phosphorus Retention in Buffer Strips: Influence of Slope and Soil Type. *J. Environ. Qual.* 44:1216–1224.
- Deasy, C. Titman, A. Quinton, J.N. 2014. Measurement of flood peak effects as a result of soil and land management, with focus on experimental issues and scale. *Journal of Environmental Management* 132 (2014) 304-312.
- Deelstra, J., Øygarden, L., Blankenberg, A-G. B. and Eggestad, H-O. 2011. "Climate change and runoff from agricultural catchments in Norway", *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, Vol. 3 Iss: 4, pp.345 – 360.
- Degerman, E. Sers, B., Törnblom, J. & Angelstam, P. 2004. Large woody debris and brown trout in small forest streams – towards targets for assessment and management of riparian landscapes. *Ecological Bulletins* 51: 233–239.
- Delgado and Scalenghe, R. 2008. Aspects of phosphorus transfer from soils in Europe, Review Article. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 2008, 171, p. 552–575. DOI: 10.1002/jpln.200625052.
- Dillaha, T. A., J. H. Sherrard, D. Lee, S. Mostaghimi, V.O. Shanholtz. 1988. Evaluation of vegetative filter strips as a best management practice for feed lots. *Journal of the Water Pollution Control Federation* 60(7):1231-1238.
- Dillaha, T. A., Reneau, R. B., Mostaghimi, S. and Lee, D. 1989. Vegetative filterstrips for agricultural non-point source pollution control. *Transaction of ASAE* 32, 513-519.
- Direktoratet for naturforvaltning. 2007. Kartlegging av naturtyper – verdsetting av biologisk mangfold. DN-Håndbok 13, 2. utgave 2006, oppdatert 2007. 254 s.
- Dorioz, J.M., Wang, D., Poulenard, J., Tre´visan, D. 2006. The effect of grass buffer strips on phosphorus dynamics—A critical review and synthesis as a basis for application in agricultural landscapes in France. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 117 (2006) 4–21.
- Duchemin, M., Hogue, R. 2009. Reduction in agricultural non-point source pollution in the first year following establishment of an integrated grass/tree filter strip system in southern Quebec (Canada). *Agriculture, Ecosystems and Environment* 131 (2009) 85–97.
- Dwyer J. P., D. Wallace and D. R. Larsen. 1997. Value of woody river corridors in levee protection along the Missouri River in 1993. *Journal of the American Water Resources Association* 33: 481-489.
- EEA 2015. Water-retention potential of Europe’s forests. A European overview to support natural water-retention measures. European Environment Agency. Technical Report No. 13/2015. 41 s.
- Eikenæs, O., Njøs, A., Østdahl, T. og Taugbøl, T. 2000. Flommen kommer. Sluttrapport fra HYDRA – et forskningsprogram om flom. HYDRA-Programmet. 108 s.
- Ellis, T.W., Hairsine, P.B., Tongway, D.J., Legu´edois, S. 2008. Sediment trapping by a tree belt: processes and consequences for sediment delivery. *Hydrol. Process.* 22, 3523–3534 (2008).
- Engen-Skaugen, T., Førland, E. J., Hygen H.J. og Benestad, R. 2010. Klimaprojeksjoner frem til 2050; Grunnlag for sårbarhetsanalyse i utvalgte kommuner. met.no klima-rapport nr. 4, 2010, 58 s.
- FAO 2005. Forest and floods. Drowning in fiction or thriving on facts? RAP Publication 2005/03. *Forest Perspectives* 2. 30 s.
- Fox, G. A. & Wilson, G. V. 2010. The Role of Subsurface Flow in Hillslope and Stream Bank Erosion: A Review. *Soil Sci Soc Am J.* Vol 74:717-733.

- Fox, J. F., & Papanicolaou A. N., 2007. The Use of Carbon and Nitrogen Isotopes to Study Watershed Erosion Processes. *J. Am. Water Resour. As.* 43(4):1047-1064.
- Gascuel C., Dorioz J.M., Krogstad T., Bechmann M. 2010. Create and manage vegetated buffers at field boundaries. COST869 (COoperation in Science and Technology). http://www.cost869.alterra.nl/Fs/FS_vegetated_buffers.pdf, date accessed: 10.10.2012.
- Gatto, L. W. 1984. Tanana River monitoring and research program: relationships among bank erosion, vegetation, soils, sediments, and permafrost on the Tanana River near Fairbanks, Alaska. US Army Corps of Engineers, Cold Regions Research & Engineering Laboratory, Special Report 84-21.
- Gatto, L. W. 2000. Soli freeze-thaw-induced changes in a simulated rill: Potential impacts on soil erosion. *Geomorphology* 32: 147-160.
- Genet M., Stokes A., Salin F., Mickovski S.B., Fourcaud T., Dumail J.F. and Van Beek R. 2005. The influence of cellulose content on tensile strength in tree roots. *Plant and Soil*, 258: 1–9.
- Gray D.H. and Barker D. 2004. Root-Soil Mechanics and Interactions. In: Bennet, S.J. & Simon, A. (eds.): *Riparian Vegetation and Fluvial Geomorphology*. Water Science and Application 8. American Geophysical Union, Washington DC. Pp. 113-124.
- Gray, D. H., and MacDonald, A. 1989. The role of vegetation in river bank erosion. Pages 218-223 *in* M. A. Ports, editor. *Hydraulic engineering. Proceedings of the 1989 national conference on hydraulic engineering.*
- Gray D.H. and Leiser A.J. 1982. *Biotechnical Slope Protection and Erosion Control*. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Grayson, R. B., Western, A. W., Chiew, F. H., & Blöschl, G. 1997. Preferred states in spatial soil moisture patterns: Local and nonlocal controls. *Water Resources Research*, 33(12), 2897-2908.
- Greenway, D.R. 1987. Vegetation and slope stability. In: Anderson M.F., Richards K.S. (eds): *Slope Stability*, New York, John Wiley & Sons, 240s.
- Gregory, S. V., Swanson, F. J., Arthur McKee, W. and Cummins K. W. 1991. An Ecosystem Perspective of Riparian Zones. Focus on links between land and water. *BioScience* 41(8): 540-550.
- Grimser, M. E., O'Green, A., T. and Lewis, D. 2006. Vegetative Filter Strips for Nonpoint Source Pollution Control in Agriculture. ANR, University of California, Publication 8195.
- Groffman, P.M., Boulware, N.J., Zipperer, W.C., Pouyat, R.V., Band, L.E., Colosimo, M.F. 2002. Soil nitrogen cycling processes in urban riparian zones. *Environ. Sci. Technol.* 36, 4547–4552.
- Grønsten, H.A. Øygarden, L., Skjevdal, R. 2007. Jordarbeiding til høstkorn- effekter på erosjon og avrenning av næringsstoffer. *Bioforsk rapport Vol. 2 Nr. 60/2007*. 71 pp.
- Haan, C.T., Barfield, B.J., Hayes, J.C. 1994. *Design Hydrology and Sedimentology for Small Catchments*. Academic Press, San Diego, California, USA, 588 pp. (Book).
- Hanssen-Bauer, I., Førland, E. J., Haddeland, I., Hisdal, H., Mayer, S., Nesje, A., Nilsen, J.E.Ø., Sandven, S., Sandø, A.B., Sorteberg, A. & Ådlandsvik, B. *Klima i Norge 2100, kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning oppdatert i 2015*. NCCS report no. 2/2015. ISSN 2387-3027.
- Harding, J. S., Benfield, E. F., Bolstad, P. V., Helfman, G. S. and Jones, E. B. D. 1998. Stream biodiversity: The ghost of land use past. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. Vol. 95, pp. 14843–14847
- Harmel, R. D. 1997. *Analysis of Bank Erosion on the Illinois River in Northeast Oklahoma*. PhD dissertation, Oklahoma State University.

- Helmers, M.J., Eisenhauer, D.E., Dosskey, M.G., Franti, T.G., Brothers, J.M., McCullough, M.C. 2005. Flow pathways and sediment trapping in a field-scale vegetative filter. Soil & Water Division of ASAE. Vol. 48(3): 955–968.
- Hill, A. R. 1996. Nitrate removal in stream riparian zones. *Journal of Environmental Qual.* 25:743-755.
- Hoffmann, C.C., Kjaergaard, C., Uusi-Kämpä, J., Hansen, H.C.B., Kronvang, B. 2009. Phosphorus Retention in Riparian Buffers: Review of Their Efficiency. *Journal of Environ. Qual.* 38:1942–1955.
- Hooke, J.M. 1980. Magnitude and distribution of rates of river bank erosion. *Earth Surf. Proc. Land.* 5: 143-157. Hooke, J.M., 1979. An analysis of the processes of river bank erosion. *J. Hydrol.*, 42: 39-62.
- Høegh, B. Å. 2015. Vannressursloven. Foredrag ved seminar; «Kantsoner langs vassdrag», Lillestrøm, 3.12.2015.
- Hågvar, S. & Bækken, B. T. 2005. Forest strips left along water and bog can be valuable for birds. A case of experimental cutting. - *Ornis Norvegica* 28: 51-57.
- Jackson R.B., Canadell J. Ehleringer J.R., Mooney H.A., Sala O.E. and Schulze, ED. 1996. A global analysis of root distributions for terrestrial biomes. *Oecologia*, 108 (3): 389-411.
- Jeppesen, E, Kronvang, B., Meerhoff, M., Søndergaard, M., M. Hansen, K. M., Andersen, H. E., Lauridsen, T. L. and Liboriussen, L. 2009. Climate Change Effects on Runoff, Catchment Phosphorus Loading and Lake Ecological State, and Potential Adaptations. *J. Environ. Qual.* 38:1930–1941.
- Julian, J. P. and Torres, R. 2006. Hydraulic erosion of cohesive riverbanks. *Geomorphology* 76.1 , 193-206.
- Knighton, D. 1998. Fluvial forms and processes: a new perspective. ed. 2. Arnold, Hodder Headline, PLC.
- Kronvang, B. Rubæk, G. H. and Heckrath, G. 2009. International Phosphorus Workshop: Diff use Phosphorus Loss to Surface Water Bodies—Risk Assessment, Mitigation Options, and Ecological Effects in River Basins, *J. Environ. Qual.* 38:1924–1929 (2009).
- Kronvang, B., Baatrup-Pedersen, Ejrnæs, R., Schou, J.S., Jørgensen, U. og Børgesen, C. 2008. Udyrkede bræmmer og randzoner langs vandløb og søer. Kortlægning af risikoarealer for fosfortab i Danmark. B3: Arealændringer i risikoområder. Årgang 1, 2008 Nr. B3, vers. 1.
- Kronvang, B., Bechman, M., Lundekvam, H., Behrendt, H., Rubæk, G.H., Schoumans, O.F., Syversen, N., Andersen, H.E. and C.C. Hoffmann. 2005. Phosphorus losses from agricultural areas in river basins: Effects and uncertainties of targeted mitigation measures. *J. Environ. Qual.* 34:2129–2144.
- Kumar, S., Anderson, S.H., Udawatta, R.P. 2010. Agroforestry and Grass Buffer Influences on Macropores Measured by Computed Tomography under Grazed Pasture Systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 74:203–212.
- Kværnø, S., Turtumøygard, S., Grønsten, H.A. & Bechmann, M. 2014. Agricat 2 – modell for beregning av jord- og fosfortab fra jordbruksarealer. *Bioforsk TEMA*, nr. 25/2014.
- Kværnø, S.H., Bechmann, M., 2010. Strømningsveier for vann, partikler og næringsstoffer i jord. *VANN* 45(2): 177-190.
- Laubel, A., Svendsen, L.M., Kronvang, B. & Larsen, S.E. 1999. Bank erosion in a Danish lowland stream system. *Hydrobiologia* 410: 279-285.
- Lawler, D.M., 1993a. The measurement of river bank erosion and lateral channel change: a review. *Earth Surface Processes and Landforms*, 18: 777-821.

- Lawler D.M. 1993b. Needle ice processes and sediment mobilization on river banks: the River Ilston, West Glamorgan, UK. *J Hydrology*; Volume 150, 1: 81–114
- Lie, E. F. og Sørensen, T. 2013. Inter-population variation in brown trout (*Salmo trutta*) life-history- and migration strategies in a clay-affected river system. Live fast, die young! Master Thesis, Department of Ecology and Natural resource Management. Norwegian University of Life Sciences.
- Lin, C.H., Lerch, R.N., Goynes, K.W., Garrett, H.E., 2011. Reducing Herbicides and Veterinary Antibiotics Losses from Agroecosystems Using Vegetative Buffers. *J. Environ. Qual.* 40:791–799.
- Liu, X., Zhang, X. and Zhang, M. 2008. Major Factors Influencing the Efficacy of Vegetated Buffers on Sediment Trapping: A Review and Analysis. *J. Environ. Qual.* 37:1667–1674.
- Lundekvam, H., & Skøyen, S. 1998. Soil erosion in Norway. An overview of measurements from soil loss plots. *Soil Use and Management* 14, 84-89.
- Lyons J., Trimble, S.W., Paine, L.K. 2000. Grass versus trees: Managing riparian areas to benefit streams of Central North America. *J. American Water Res. Assoc.* 36(4), 919–930.
- Magette, W. L., R. B. Brinsfield, R. E. Palmer and J. D. Wood. 1989. Nutrient and sediment removal by vegetated filter strips. *Transactions of the ASAE* 32(2): 663-667.
- Mankin, K.R., Daniel, M.N., Charles, J.B., Stacy, L.H., Wayne, A.G. 2007. Grass-shrubriparian buffer removal of sediment, phosphorus, and nitrogen from simulated runoff. *J. Am. Water Resour. Assoc.* 43, 1108–1116.
- Marquez m. fl. 1999;
- Mejdell Larsen, B. 2012. Elvemusling og konsekvenser av vassdragsreguleringer - en kunnskapsoppsummering. Rapport Miljøbasert Vannføring nr. 8, 2012, 172 s.
- Micheli, E.R., Kirchner, J.W., Larsen, E.W. 2004. Quantifying the effect of riparian forest versus agricultural vegetation on river meander migration rates, Central Sacramento River, California, USA. *River Res. Applic.* 20: 537–548 (2004)
- Minella, J.P.G., Walling, D.E. & Merten, G.H. 2008. Combining sediment source tracing techniques with traditional monitoring to assess the impact of improved land management on catchment sediment yields. *J. Hydrol.* 348: 546-563.
- Montgomery G. L. 1996. Riparian Areas Reservoirs of Diversity. Working Paper No. 13 Natural Resources Conservation Service, USDA United States Department of Agriculture. Northern Plains Regional Office; Lincoln, Nebraska, February 1996.
- Mänder, U., Kuusemets, V., Löhmus, K. and Mäuring, T. 1997. Efficiency and dimensioning of riparian buffer zones in agricultural catchments. *Ecological Engineering* 8: 299-324.
- Mayer, P. M., Reynolds Jr, S. K. Canfield, T. J. 2005. Buffer riparian Width, Vegetativ Cover and Nitrogen Removal Effectiveness: A Review of Current Science and Regulations. EPA/600/R-05/118.
- Mayer, P.M., Reynolds, S.K.J.R., Mccutchen, M.D., Canfield, T.J. 2007. Meta-analysis of nitrogen removal in riparian buffers. *J. Environ. Qual.* 36, 1172–1180.
- Nardi, L., Rinaldi, M., & Solari, L. 2012. An experimental investigation on mass failures occurring in a riverbank composed of sandy gravel. *Geomorphology*, 163, 56-69.
- Nicholls, C.I. & Altieri, M.A. 2013. Plant biodiversity enhances bees and other insect pollinators in agroecosystems. A review. *Agron. Sustain. Dev.* (2013) 33: 257. doi:10.1007/s13593-012-0092-y.
- NOU. 2015. Norges offentlige utredninger 2015: 16 Overvann i byer og tettsteder som problem og ressurs.

- Osborne L. L. and Kovacic, D. A. 1993. Riparian vegetated buffer strips in water-quality restoration and stream management. *Freshwater Biology* 29, 243-258.
- Patty, L., Real, B. and Gril, J. 1997. The use of grassed buffer strips to remove pesticide, nitrate and soluble phosphorus compounds from runoff water. *Pesticide Science* 49:243-251.
- Pavlowsky, R. T. 2004. Urban Impacts on Stream Morphology in the Ozark Plateaus Region. In *Self-Sustaining Solutions for Streams, Wetlands, and Watersheds: Proceedings of the 12-15 September 2004 Conference*, Radisson Riverfront Hotel, St. Paul, Minnesota USA (p. 60). American Society of Agricultural.
- Peterjohn, W. T. and D. L. Correll. 1984. Nutrient dynamics in an agricultural watershed: Observations on the role of a riparian forest. *Ecology* 65(5): 1466-1475.
- Piégay, H., Darby, S. E., Mosselman, E., & Surian, N. 2005. A review of techniques available for delimiting the erodible river corridor: a sustainable approach to managing bank erosion. *River Research and Applications*, 21(7), 773-789.
- Pollen, N., Simon, A., and Collison, A. 2004. Advances in Assessing the Mechanical and Hydrologic Effects of Riparian Vegetation on Streambank Stability. In: Bennet, S.J. & Simon, A. (eds.): *Riparian Vegetation and Fluvial Geomorphology*. Water Science and Application 8. American Geophysical Union, Washington DC. Pp. 125-140.
- Poulsen, H. D og Rubæk, G. H. (red). 2005. Fosfor i dansk landbrug. Omsætning, tab og virkemidler mod tab. DJF rapport Husdyrbrug nr. 68. December 2005.
- Popov V.H., Cornish, P.S., Sun H. 2005. Vegetated biofilters: the relative importance of infiltration and adsorption in reducing loads of water-soluble herbicides in agricultural runoff. *Agric Ecosyst Environ* 114: 351-9.
- Pusey B. J. and Arthington A. H. 2003 Importance of the Riparian Zone to the Conservation and Management of Freshwater Fish: A Review. *Marine and Freshwater Research* 54(1) 1 – 16
- Reichenberger, S., Bach, M., Skitschak, A., Frede, H.-G. 2007. Mitigation strategies to reduce pesticide inputs into ground- and surface water and their effectiveness; A review. *Science of the Total Environment* 384 (2007) 1-35.
- Riestenberg, M.M. 1994. Anchoring of thin colluvium by roots of Sugar Maple and White Ash on hillslopes in Cincinnati. *United States Geological Survey Bulletin* 2059-E: 1±25.
- Rusch, G. M. 2012. Klima og økosystemtjenester. Norske økosystemers potensial for avbøting av og tilpasning til klimaendringer. NINA Rapport 792. 43 s.
- Schiechl HM, Stern R. 1996. Ground bioengineering techniques for slope protection and erosion control (English edition translated by L. Iaklitsch). Blackwell: Boston.
- Schmitt, T. J., Dosskey, M., G. and Hoagland, K. D. 1999. Filter Strip Performance and Processes for Different Vegetation, With and Contaminants. *J. of Environmental Quality*. 28:1479-1489.
- Sekely A.C., Mulla D.J. and Bauer D.W. 2002. Streambank slumping and its contribution to the phosphorus and suspended sediment loads of the Blue Earth River, Minnesota. *Journal of Soil and Water Conservation* 57(5): 243-250.
- Seobi, T., S.H. Anderson, R.P. Udawatta, and C.J. Gantzer. 2005. Influence of grass and agroforestry buffer strips on soil hydraulic properties for an Albaqualf. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69:893-901.
- Sharpley, A.N., Chapra, S.C., Wedepohl, R., Sims, J.T., Daniel, T.C., Reddy, K.R. 1994. Managing agricultural phosphorus for protection of surface waters: Issues and options. *J. Environ. Qual.* 23, 437-451.

- Simon, A. and Collison, A. J. C. 2002. Quantifying the mechanical and hydrologic effects of riparian vegetation on streambank stability. *Earth Surf. Process. Landforms*, 27: 527–546. doi:10.1002/esp.325
- Sheppard, S. C., M. I. Sheppard, J. Long, B. Sanipelli, and J. Tait. 2006. Runoff phosphorus retention in vegetated field margins on flat landscapes. *Can. J. Soil. Sci.* 86: 871–884.
- Skarbøvik, E. 2016. Uttesting av metoder for kvantifisering av kanterosjon i leirvassdrag, og betydning av kanterosjon for fosfortap til vannforekomstene. VANN 01:2016; 30-42.
- Skarbøvik, E. og Blankenberg A.-G. B. 2014. Vurdering av kantsoner langs Lierelva oppstrøms Bjørkelangen (Vannområde Haldenvassdraget). Resultater fra undersøkelser i 2014. Bioforsk Rapport Vol. 9, nr. 179, 34 s.
- Solheim, A. Lyche, Vagstad, N., Kraft, P., Løvstad, Ø., Skoglund, S., Turtumøygard, S., Selvik, J.R. 2001. Tiltaksanalyse for Morsa. Vansjø-Hobølvassdraget. Sluttrapport. – NIVA-rapport 4377:104s.
- Somma, F. 2013 (editor). River Basin Network on Water Framework Directive and Agriculture. Practical experiences and knowledge exchange in support of the WFD Implementation (2010-2012). JRC Scientific and Policy Reports. JRC78538.
- Stutter, M.I., Chardon, W.J. & Kronvang, B. 2012. Riparian buffer strips as a multifunctional management tool in agricultural landscapes: Introduction to the special collection. *J. Environ. Qual.* 41:297-303. <http://dx.doi.org/10.2134/jeq2011.0439>
- Stutter, M.I., and S. Richards. 2012. Relationships between soil physicochemical, microbiological properties, and nutrient release in buffer soils compared to field soils. *J. Environ. Qual.* 41:400–409.
- Stutter, M.I., Langan, S.J., Lunsdom, D.G. 2009. Vegetated buffer strips can lead to increased release of phosphorus to waters: a biogeochemical assessment of the mechanisms. *Environ. Sci. Technol.* 43, 1858–1863.
- Sun, G.W., Coffin D.P., Lauenroth W.K. 1997. Comparison of root distributions of species in North American grasslands using GIS. *Journal of Vegetation Science*, 8 (4): 587-596.
- Syversen, N. 2005. Effect and design of buffer zones in the Nordic climate: The influence of width, amount of surface runoff, seasonal variation and vegetation type on retention efficiency for nutrient and particle runoff. *Ecological Engineering*, 24: 483-490.
- Syversen, N., and H. Borch. 2005. Retention of soil particle fractions and phosphorus in cold-climate buffer zones. *Ecol. Eng.* 25(4):382–394. doi:10.1016/j.ecoleng.2005.06.005.
- Syversen, N., Bechmann, M. 2004, Vegetative buffer zones as pesticide filters for simulated surface runoff. *Ecol Eng.* 22:175–184. doi: 10.1016/j.ecoleng.2004.05.002
- Syversen, N. 2002. Cold Climate vegetative buffer zones as filters for surface agricultural runoff. Retention of soil particles, phosphorus and nitrogen. Doctor Scintiarum Theses 2002:12. Agricultural University of Norway.
- Syversen, N. 2002. Effect of a cold climate buffer zone on minimizing diffuse pollution from agriculture. *Water Science and Technology*. Vol 45, No 9, pp 69-76 © IWA Publishing 2002.
- Syversen og Roseth, 1992. Effekt av vegetasjonssoner på jordbruksavrenning. *Jordforsk-rapport nr. 5*. 23.19/1.
- Søvik, A. K., Syversen, N. Blankenberg, A-G. B. and Mæhlum, T. 2012. Retention of agricultural surface runoff in a cold-climate vegetative buffer zone – effect of vegetation and season. *VATTEN – Journal of Water Management and Research* 68:85–96. Lund 2012.

- Søvik, A. K. og N. Syversen. 2008. Videreutvikling av vegetasjonssoner som rensefilter for overflateavrenning – Effekt av ulik vegetasjon og variasjon i renseeffekt over tid. Bioforsk rapport, Vol 3, Nr 2, 2008.
- Thawait A.K. and Chauhan M.S. 2014. Riparian Vegetated Buffer Strips for Stream Water Quality Restoration. *Journal of Environmental Science and Sustainability (JESS)*, 2 (1): 1 – 6,.
- Thorne C.R. 1990. Effects of vegetation on riverbank erosion and stability. In *Vegetation and Erosion*, Thornes JB (ed.). Wiley: Chichester: 125±143.
- Thorne, C.R. 1982. Processes and mechanisms of river bank erosion. *Gravel-bed Rivers*. Wiley, Chichester, pp. 227–271.
- Trimble S. W. 2004. Effects of Riparian Vegetation on Stream Channel Stability and Sediment Budgets. In: Bennet, S.J. & Simon, A. (eds.): *Riparian Vegetation and Fluvial Geomorphology*. Water Science and Application 8. American Geophysical Union, Washington DC. Pp. 153-170.
- Tryland, I., Robertson, L., Blankenberg, A-G. B, Lindholm, M., Rohrlack, T. and Liltved, H. 2011. "Impact of rainfall on microbial contamination of surface water", *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, Vol. 3 Iss: 4, pp.361 – 373.
- Uhlen, G. 1988. Surface runoff losses of phosphorus and other nutrient elements from fertilized grassland. *Norwegian J. Agric. Sci.* 3: 47-55.
- Tufekcioglu A., Raich J.W., Isenhardt T.M. and Schultz R.C. 1999. Fine root dynamics, coarse soil biomass, root distribution and soil respiration in a multispecies riparian buffer in Central Iowa, USA. *Agroforestry Systems*, 44 (2-3):163-174.
- Udawatta, R.P., Garrett, H.E., Kallenbach, R. 2011. Agroforestry Buffers for Nonpoint Source Pollution Reductions from Agricultural Watersheds. *J. Environ. Qual.* 40:800–806.
- Udawatta, R.P., Gantzer, C.J., Anderson, S.H., Garrett, H.E. 2008. Agroforestry and Grass Buffer Effects on Pore Characteristics Measured by High-Resolution X-ray Computed Tomography. *SSSAJ* 72, 295-304.
- Ulén, B. 1988. Fosforerosjon vid vallodling och skyddzon med gras. *Ekohydrologi* 26: 23-28.
- Uusi-Kämpä J. and Jauhiainen, L. 2010. Long-term monitoring of buffer zone efficiency under different cultivation techniques in boreal conditions. *Agric. Ecosyst. Environ.* (2010).
- Uusi-Kämpä J. 2008. Evaluating vegetated buffer zones for phosphorus retention in cereal and grass production. *NJF Report: Vol 4, Nr 4, Year 2008. Phosphorous management in Nordic-Baltic agriculture – reconciling productivity and environmental protection.*
- Uusi-Kämpä, J. 2003. Phosphorus Purification in Riparian Zones. *Proceedings of International Workshop on Efficiency of Purification Processes in Riparian Buffer Zones*, 248-257. Kushiro, Japan, 5.-9. Nov. 2001.
- Uusi-Kämpä, J., Braskerud, B., Jonasson, H., Syversen, N. and Uusitalo, R. 2000. Buffer Zones and Constructed Wetlands as Filters for Agricultural Phosphorus. *Journal of Environmental Quality* 29:151-158, 2000.
- van der Ploeg, R.R. and Schweigert, P. 2001. Elbe river flood peaks and postwar agricultural land use in East Germany. *Naturwissenschaften* 88: 522-525.
- Vergani C., Chiaradia E. and Bischetti G. 2012. Variability in the tensile resistance of roots in Alpine forest tree species. *Ecological Engineering*, 46: 43–56.
- Verstraeten, G., Poesen, J., Gillijns, K., Govers, G. 2006. The use of riparian vegetated filter strips to reduce river sediment loads: an overestimated control measure? *Hydrol. Process.* 20, 4259–4267.

- Vianello, M., Vischetti, C., Scarponi, L., Zanin, G. 2005. Herbicide losses in runoff events from a field with a low slope: Role of a vegetative filter strip. *Chemosphere* 61: 717–725.
- Voght, L. B-M., Pinay, G., Fuglsang, A. and Ruffinoni, C. 1995. Structure and function of buffer strips from a water quality perspective in agricultural landscapes. *Landscape and urban planning*. 31:323-331.
- Voght, L. B-M, Dahl, J., Pedersen and Lacoursiere, J. O. 1994. Nutrient retention in riparian ecotones. *Ambio*. 23, 342-348.
- Walling, D.E. 2005. Tracing suspended sediment sources in catchments and river systems. *Sci. Total Environ.* 344 (2005): 159-184.
- Waldron L.J. and Dakessian S. 1981. Soil reinforcement by roots, calculation of increased soil shear resistance from root properties. *Soil Science* 132(6): 427-435.
- Wegner, S. 1999. A review of Scientific literature on Riparian Buffer Width, Extent and Vegetation. Office of Public Service & Outreach, Institute of Ecology, University of Georgia, Usa. Revised version. 59 p.
- Wheater and Evans. 2009. Land use, water management and future flood risk. *Land Use Policy* 26S: S251-S264.
- Wu T.H, Mc Kinnell and Swanston D.N. 1979. Strength of tree roots and landslides on Prince of Wales Island, Alaska. *Canadian Geotechnical Journal* 16(1): 19-33.
- Xiao, B., Wang, Q., Wu, J., Huang, C., Yu, D. 2010. Protective function of narrow grass hedges on soil and water loss on sloping croplands in Northern China. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 139: 653–664.
- Yang, F., Yang, Y., Li, H., Cao, M. 2015. Removal efficiencies of vegetation-specific filter strips on nonpoint source pollutants. *Ecological Engineering* 82: 145–158
- Yu, C., Gao, B., Muñoz-Carpena, R. 2012. Effect of dense vegetation on colloid transport and removal in surface runoff. *Journal of Hydrology* 434–435: 1–6.
- Young-Mathews, A., Sánchez-Moreno, A., Ferris, H. 2010. Plant-soil biodiversity relationships and nutrient retention in agricultural riparian zones of the Sacramento Valley, California. *Agroforest Syst* 80:41–60.
- Young R.A., Huntrods T. and Anderson W. 1980. Effects of vegetated buffer strips in controlling pollution from feedlot runoff. *J. Environ. Qual.* 9:483 – 487.
- Zhang, X., Liu, X., Zhang, M., Dahlgren, R.A. 2010. A Review of Vegetated Buff ers and a Meta-analysis of Their Mitigation Efficiency in Reducing Nonpoint Source Pollution. *J. Environ. Qual.* 39:76–84.
- Øgaard, A.F. 2015. Freezing and thawing effects on phosphorus release from grass and cover crop species. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science* 65: 529-536.
- Øgaard, A.F., Kristoffersen, A. Ø. og Pedersen, R. 2012. Fosforgjødsling – betydning for fosforkonsentrasjon i jord og tap til vann. *Bioforsk rapport nr. 4(147)2012*.
- Øygarden, L., Deelstra, J., Blankenberg, A-G. B. Hauge, A., Kitterød, N. O. and Eggestad, H. O. 2011. Runoff and Mitigation Measures in Agricultural Catchments Under Climate Change i Norway. *Municipalities Addressing Climate Change. A Case Study of Norway*. Ed. I. Kelman. 25-49:150.
- Øygarden, L. 2000. Seasonal variations in soil erosion in small agricultural catchments in south-eastern Norway. In: Øygarden, L. (ed) *Soil erosion in small agricultural catchments, south-eastern Norway*. Doctor Scientiarum Theses 200:8. Agricultural University of Norway.

Nettreferanser:

Forest research; Cases for and against forestry reducing flooding. Government of UK.

<http://www.forestry.gov.uk/fr/inf-d-7t9jf8>

LOVdata (<https://lovdata.no/>)

Miljølære.no: https://www.miljolare.no/tema/vannressurser/artikler/elvar_bekker.php

NIBIO - Tiltaksveileder for landbruket (www.nibio.no/tiltak)

Room for the River: <https://www.ruimtevoorderivier.nl/english/>

Vedlegg 1. Spørreundersøkelse

Spørreundersøkelse:

Vegetasjonsdekke som tiltak mot tap av jord og fosfor fra landbruksareal.

Denne undersøkelsen er en del av det pågående prosjektet «Effekt av buffersoner på vannmiljø og andre økosystemtjenester». Landbruksdirektoratet – Klima og miljøprogrammet er oppdragsgiver for prosjektet.

Buffersoner mellom åker og vannforekomst er et viktig miljøtiltak i landbruket, og har vært gjennomført i mange år. Tiltaket støttes av ulike tilskuddsordninger, og i enkelte vassdrag gis det ikke produksjonstilskudd med mindre det etableres slike soner. Det er likevel viktig å spørre om vi vet nok om effekten av dette tiltaket. I den forbindelse er det svært viktig å høste erfaringer fra bønder, forvaltning og landbruksrådgiving.

Dette spørreskjemaet er utformet for å gi oss økt informasjon om hvor effektive slike soner med vegetasjonsdekke er som miljøforbedrende tiltak.

Alle resultater som formidles fra denne undersøkelsen vil **anonymiseres**.

Vi ber om at spørreskjemaet fylles ut etter beste evne.

Vassdrag/kommune: _____

| Spørsmål | Kryss av: | Kommentar |
|--|-----------|--|
| 1. Hvilke typer tiltak har du? | | |
| a. Grasdekt buffersoner langs vassdrag | | Anlagt årstall (kan være flere): Bredde på sonen: |
| b. Ugjødsle randsone i eng og beitemark | | Anlagt årstall: Bredde på sonen: |
| c. Grasdekt vannvei inne på jordet | | Anlagt årstall: Bredde: |
| d. Annet (beskriv) | | Anlagt årstall: |
| | | |
| 2. Gjødles graset? | | |
| a. Nei | | |
| b. Ja | | Med hva: Hvor mye: Hvor ofte: |
| | | |
| 3. Sprøytes graset? | | |
| a. Nei | | |
| b. Ja | | Mot hva: Når: Mengde: |

| | | |
|--|--|---|
| 4. Høstes graset? | | |
| a. Nei | | |
| b. Ja | | Ant ganger pr sesong: Avlingsmengde (ca %-andel i forhold til normalt): Hva brukes graset til: Kvalitet: |
| | | |
| 5. Har du/dere utstyr, og høster selv? | | |
| a. Ja | | |
| b. Nei (Vennligst utdyp): | | |
| | | |
| 7. Benyttes du/dere graset selv? | | |
| a. Ja (vennligst utdyp) | | |
| b. Nei (vennligst utdyp) | | |
| | | |
| 7. Beites grassonen(e) | | |
| a. Nei | | |
| b. Ja (vennligst utdyp) | | |
| | | |
| 8. Brukes beitepusser i grassonen(e) | | |
| a. Nei | | |
| b. Ja | | |
| | | |
| 7. Hvor ofte jordarbeides/reetableres sonen? | | Hvor ofte: Når var sist (årstall): |
| | | |
| 8. Hvilken type gras-/frøblanding brukes? | | |
| | | |
| 9. Medfører buffersoner en økonomisk gevinst? | | |
| a. Nei, inntekt den samme | | |
| b. Nei, medfører tapt inntekt | | |
| c. Ja | | |
| | | |
| 10. Brukes buffersonen som transportvei? | | (f.eks ved ved jordarbeiding, gjødsling/kalking, innkjøring av korn/gras mm)? |
| a. Nei | | |
| b. Ja, (vennligst beskriv) | | |

| | | |
|---|--|--|
| | | |
| 9. På hvilke dyrkningsformer er det buffersoner? | | (flere svar er mulige) |
| a. Korn og oljevekster | | |
| b. Grønnsaker/Poteter | | |
| c. Grasproduksjon | | |
| d. Beite | | |
| e. Annet (beskriv) | | |
| | | |
| 10. På hvilke erosjonsklasser er det buffersoner? (sett ett eller flere kryss) | | 1. 2. 3. 4. |
| | | |
| 11. Er spredning av ugras fra buffersonen et problem? | | |
| a. Nei | | |
| b. Ja (vennligst beskriv) | | Arter: |
| | | |
| 12. Din skjønnsmessige vurdering av tiltakene | | Vennligst beskriv: |
| a. Har buffersonen effekt mot tap av jord og næringsstoffer/sprøytemidl.? | | Nei: Ja: |
| b. Ønsker du en annen bredde enn dagens bredde? (Oppgi årsak) | | Passe: Ønsker smalere grunnet: Ønsker bredere grunnet: |
| c. Oppfatter du buffersoner som et estetisk landskapselement? | | Nei: Ja: |
| d. Har du inntrykk av at buffersonene har positiv effekt med hensyn på å redusere kanterosjon? | | Nei, fordi: Ja, fordi: |
| e. Ville smalere kantsoner med busker og trær vært et bedre alternativ en grasdekte buffersoner? | | Nei, fordi: Ja, fordi: |
| f. Vil du tro at det er bedre infiltrasjon i buffersonene enn på resten av produksjonsarealet? | | Nei, fordi: Ja, fordi: |

Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO) ble opprettet 1. juli 2015 som en fusjon av Bioforsk, Norsk institutt for landbruksøkonomisk forskning (NILF) og Norsk institutt for skog og landskap.

Bioøkonomi baserer seg på utnyttelse og forvaltning av biologiske ressurser fra jord og hav, fremfor en fossil økonomi som er basert på kull, olje og gass. NIBIO skal være nasjonalt ledende for utvikling av kunnskap om bioøkonomi.

Gjennom forskning og kunnskapsproduksjon skal instituttet bidra til matsikkerhet, bærekraftig ressursforvaltning, innovasjon og verdiskaping innenfor verdikjedene for mat, skog og andre biobaserte næringer. Instituttet skal levere forskning, forvaltningsstøtte og kunnskap til anvendelse i nasjonal beredskap, forvaltning, næringsliv og samfunnet for øvrig.

NIBIO er eid av Landbruks- og matdepartementet som et forvaltningsorgan med særskilte fullmakter og eget styre. Hovedkontoret er på Ås. Instituttet har flere regionale enheter og et avdelingskontor i Oslo.